

Aus der Klinik für Kommunikationsstörungen der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

VERSUCHE ZUR
COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE VON SPRECHPROBEN
STIMMLICH UND SPRACHLICH UNAUFFÄLLIGER PROBANDEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

von
Hans-Peter Fischer
aus Worms

Mainz 1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Klinik für Kommunikationsstörungen der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

VERSUCHE ZUR
COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE VON SPRECHPROBEN
STIMMLICH UND SPRACHLICH UNAUFFÄLLIGER PROBANDEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von
Hans-Peter Fischer
aus Worms

Mainz 1979



Dekan:	Professor Dr.med.H.Leithoff
1. Gutachter:	Professor Dr.med.P.Biesalski
2. Gutachter:	Professor Dr.med.D.Collo

Tag der mündlichen Prüfung: 24. 10. 1979

1. EINLEITUNG: DER MANGEL AN OBJEKTIVEN PHONIASTRISCHEN UNTERSUCHUNGSVERFAHREN	1
2. BISHERRIGE PHONIASTRISCHE UNTERSUCHUNGSVERFAHREN	2
2.1. Untersuchungsmethoden der physiologischen u. pathologischen Stimm- und Sprechmechanik	2
2.2. Elektroakustische Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache	4
2.2.1. Grundtonanalyse	4
2.2.1.1. Tonhöhenschreiber nach M. GRÜTZMACHER u. LOTTERMOSER	4
2.2.1.2. Grundtonanalysator nach SCHULTZ-COULON u. FEDDERS	4
2.2.2. Frequenzanalyse	5
2.2.2.1. Tonfrequenzspektrometer nach FREYSTEDT	5
2.2.2.2. Oktavsieboszillograph nach F. TRENDELENBURG u. FRANZ	7
2.2.2.3. Sonagraph nach KOENIG, DUNN u. LACY	8
2.2.2.4. Voiceprintverfahren nach KERSTA	10
2.3. Phoniastrische Frequenzuntersuchungsverfahren mit Digitalrechnern	11
2.3.1. Bisherige klinische Ergebnisse (GERRUL, GIESEN, MROWINKSI u.a.)	11
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUR COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE LÄNGERER SPRACHPROBEN	12
3.1. Vorüberlegungen	12
3.2. Methodik zur Beschaffung der Rohdaten	12

3.2.1.	Art, Aufnahme und Eingabe der Sprachbeispiele	12
3.2.2.	Fourieranalyse der Sprachbeispiele zu Frequenzmustern und Berechnung der Leistungsdichtespektren	14
3.3.	Problemstellungen und Untersuchungen	20
3.3.1.	Mittleres Leistungsdichtespektrum für Männer und Frauen	20
3.3.2.	Inter- und intraindividueller Vergleich von Leistungsdichtespektren	21
3.3.3.	Bestimmung der mittleren Grundfrequenz für Männer und Frauen	21
3.3.4.	Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und zugehöriger Obertonbereiche	22
3.4.	Ergebnisse und Diskussion	24
3.4.1.	Mittleres Leistungsdichtespektrum für Männer und Frauen	24
3.4.2.	Inter- und intraindividueller Vergleich von Leistungsdichtespektren	34
3.4.3.	Bestimmung der mittleren Grundfrequenz für Männer und Frauen	41
3.4.4.	Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und zugehöriger Obertonbereiche	44
4.	BEURTEILUNG DER PRAKTISCHEN VERWERTBARKEIT VON LEISTUNGSDICHTESPEKTREN ZUR COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE LÄNGERER SPRACHPROBEN	51
5.	ZUSAMMENFASSUNG	54
6.	LITERATURVERZEICHNIS	57

1. EINLEITUNG

DER MANGEL AN OBJEKTIVEN PHONIATRISCHEN UNTERSUCHUNGSVERFAHREN

Überschaut man die Vielfalt phoniatischer Untersuchungsmöglichkeiten, so erblickt man einerseits eine große Zahl instrumenteller, auditiver, visueller und palpatorischer Methoden, die genau auf das jeweils gestörte Glied innerhalb der Kette der an der Stimmgebung und am Sprechakt beteiligten Organe ausgerichtet sind, doch andererseits fällt auch der Mangel an objektiven Verfahren zur Diagnose, Indikationsstellung und Verlaufskontrolle auf. V. LEDEN klagt dies mit einem Beispiel treffend an: „Kein Otologe würde es wagen, ein neues operatives Verfahren zu veröffentlichen, ohne detaillierte vor- und nachoperative audiologische Untersuchungen beizufügen. Dagegen ist es nicht ungewöhnlich, ähnliche Berichte von Kehlkopfchirurgen zu hören, die eine Verbesserung der Kehlkopffunktion und Stimme ohne objektive Tests konstatieren" (24). Noch offener wird dieser Mangel auf der Ebene der Artikulation. Sicher ist die Suche nach objektiven diagnostischen Untersuchungsmethoden in der Phoniatrie wie in allen anderen Gebieten der Medizin vorangetrieben worden, doch man muß zusätzlich den grossen Anforderungen Rechnung tragen, die diesen Verfahren gestellt werden: Denn müssen sie nicht feinste, präzise und schnelle Bewegungen des Stimm- und Sprechaktes sensibel genug erfassen, um dem Phoniater ein ausreichendes Äquivalent seines Höreindrucks zu geben?

2. BISHERIGE PHONIATRISCHE UNTERSUCHUNGSVERFAHREN

2.1. Untersuchungsmethoden der physiologischen und pathologischen Stimm- und Sprechmechanik

Das Fehlen genauer Techniken unterstreicht die Notwendigkeit der vorhandenen Methoden, die auch weiterhin bei einer phoniatischen Untersuchung nicht wegzudenken sind: So ist jede Stimmtherapie ohne vorherige indirekte Laryngoskopie ein ärztlicher Kunstfehler. Röntgenuntersuchungen, ob Übersichtsaufnahme und Tomographie des Kehlkopfes oder Laryngographie sind Regel- bzw. Ergänzungsuntersuchungen einer jeden HNO-Klinik. Das Stroboskop ist ein wertvolles Werkzeug in der Hand des Laryngologen und Phoniaters, macht es doch Symptome organischer Stimm lippenprozesse und von Verletzungen sichtbar und gibt diagnostische Hinweise auf funktionelle Stimmstörungen (PASCHER, 30). Ebenso ist es für laryngologische und phoniatische Begutachtungen unerlässlich. Ein Verfahren, das nach BÖHME (2, S. 160-162) in naher Zukunft vielleicht den gleichen Wert wie die Stroboskopie besitzen wird, ist die Elektroglottographie. Ihr Arbeitsprinzip ist einfach: Über zwei kleine Plattenelektroden, die in Höhe der Stimmlippen perkutan befestigt sind, wird ein hochfrequenter Strom durch den Glottisquerschnitt geleitet. Für einen Wechselstrom mit konstanter Frequenz stellt der Larynx einen kapazitiven Widerstand dar, der sich den Stimmlippen entsprechend ändert. Die Änderungen können mit einem Kathodenstrahloszillographen sichtbar gemacht werden. HOLM (19,20) verbindet den Elektroglottographen synchron mit einem Phonographen, mit dem die Lautstärkeänderung in der

Zeit aufgezeichnet werden kann. Die Bilder dieser Anordnung stellen die formspezifische Gestalt von Vokal- und phonischen Konsonantelementen dar, die er Segment nennt. Die Segmentanalyse dient ihm zur Differenzierung physiologischer und pathologischer Sprachlaute. Aerodynamische Tests mit Hilfe eines Pneumotachographen und eines Plethysmographen werden in einigen Kliniken mit Erfolg verwendet. Sie erlauben objektive Aussagen über die Qualität der Kehlkopffunktion und den Grad einer Schädigung des Larynx (24).

Über diese noch relativ einfachen Verfahren hinaus werden zur Zeit Methoden entwickelt, die den oben gesetzten Anforderungen um einiges näher kommen. Da sie jedoch fast nur der phoniatischen Forschung vorbehalten sind, seien sie hier nur aufgezählt : Hochgeschwindigkeitskamera (37), Röntgenkinematographie (1, 29) und Elektromyographie des Kehlkopfes (3).

Die genannten und noch zu nennenden Verfahren werden zum Teil zu einer synchronen Mehrfachfunktionsaufzeichnung vereint, welche die Synergie der an der Stimmbildung und dem Sprechen beteiligten Funktionen verdeutlicht.

2.2. Elektroakustische Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache

Bezogen sich die bisher aufgezählten Untersuchungstechniken direkt auf die Funktion des Schallerzeugers und den Mechanismus der Stimme und des Sprechens, so beschreiben die folgenden Methoden dessen Produkt selbst: den geformten Schall. Er ist letztlich das grundlegende Objekt jeglicher phoniatischer Beurteilung und bestätigt seine diagnostische Bedeutung um so mehr, verfolgt man die zukunftsweisende Entwicklung der Elektroakustik. Ganz in diesem Sinne schreibt BÖHME: „Es bedeutet ein ganz wesentlicher Fortschritt, daß durch die moderne Elektroakustik die subjektiven Angaben unserer Patienten durch objektive Kriterien ersetzt werden" (2, S.166).

2.2.1. Grundtonanalyse

2.2.1.1. Tonhöhenschreiber nach M. GRÜTZMACHER und LOTTERMOSER (14)

M. GRÜTZMACHER und LOTTERMOSER entwickelten 1937 einen Tonhöhenschreiber, der die Dokumentation der Melodiebewegung von Sprache und Gesang ermöglicht. Die Melodiekurve kann trägheitsfrei auf dem Schirmbild eines Kathodenstrahloszillographen sichtbar gemacht und anschließend photographisch registriert werden.

2.2.1.2. Grundtonanalysator nach SCHULTZ-COULON und FEDDERS (8, 36)

SCHULTZ-COULON und FEDDERS bauten 1972 den Tonhöhenschreiber zu einem Grundtonanalysator aus, der ein

hohes zeitliches Auflösungsvermögen mit einfachster Bedienungsweise verbindet und den gesamten Frequenzbereich der menschlichen Stimme erfasst. Die Apparatur schließt einen Analog-Digitalwandler ein, der den Melodieverlauf zu einer Tonhöhenverteilungskurve, dem Grundfrequenzhistogramm, umformen kann. Aus diesem sind die mittlere Sprechtonhöhe, die Breite der Tonhöhenmodulation und Diplophonien genau bestimmbar. Da das Gerät auch Stimmeinsatz, Schwelltonvermögen und Vibrato sichtbar zu machen erlaubt, eignet es sich zu speziellen Stimmprüfungen der Singstimme (35). Allerdings bleiben solche Analysen wegen ihrer doch recht aufwendigen Methodik nur auf wenige Zentren beschränkt.

Ein 1970 von GUNDERMANN und W. GRÜTZMACHER für die phoniatische Routineuntersuchung entwickelter Tonhöhendeterminator läßt hingegen nur die Bestimmung von Stimmumfang und mittlerer Sprechstimmlage zu (15).

2.2.2. Frequenzanalyse

Über die Beschreibung des Grundtons hinaus kann die Frequenzanalyse die genaue akustische Gestalt von lautsprachlichen Zeichen entschlüsseln. Eine Reihe von Verfahren werden heute in Forschung und Klinik eingesetzt:

2.2.2.1. Tonfrequenzspektrometer nach FREYSTEDT (11)

Das 1935 von FREYSTEDT entwickelte Tonfrequenzspektrometer gestattet es, die Teiltöne eines Klanges nahezu gleichzeitig abzubilden. Das Arbeitsprinzip ist einfach (Abb. 1, S.6): Der Klang wird mit einem Kondensatormikrophon in Spannungen umgewandelt, die

nach Vorverstärkung 27 parallelgeschalteten Terzfiltern zugeführt werden. Als Filter werden Siebketten benutzt. Sie leiten aus einem Gemisch verschiedenfrequenter Wechselspannungen nur bestimmte Frequenzen weiter. Hier umfasst ihre Durchlassbreite eine Dritteloktave. Ein rotierender Abtastschalter greift die Filterausgänge nacheinander ab und stellt die Spannungen als senkrechte Linien auf einem Oszillographenschirm dar. Ihre Höhe entspricht der Amplitude der zugehörigen Frequenz.

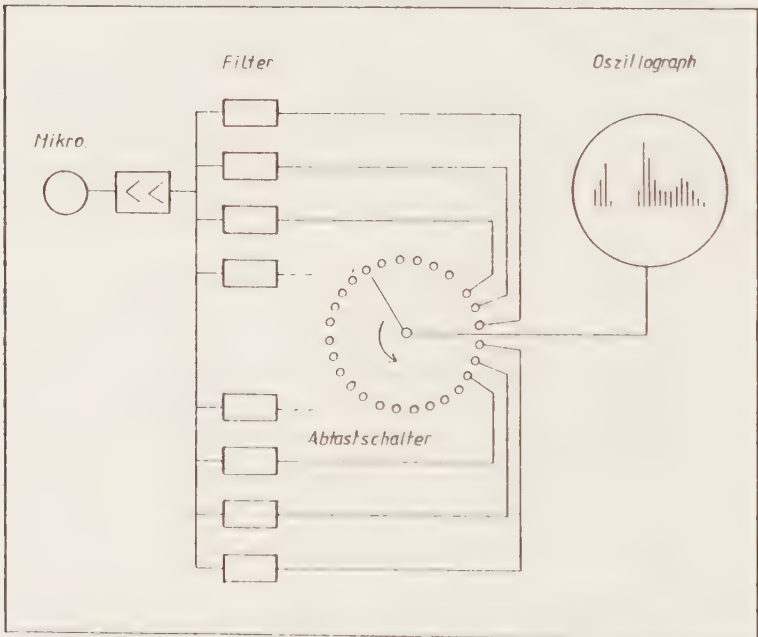


Abb. 1: Tonfrequenzspektrometer nach FREYSTEDT

2.2.2.2. Oktavsieboszillograph nach F. TRENDELENBURG und FRANZ (39)

Nach einem der Tonfrequenzspektrometrie verwandten Prinzip arbeitet der von F. TRENDELENBURG und FRANZ 1935 konzipierte Oktavsieboszillograph (Abb. 2, S.7). Wie der Name schon sagt, werden die vorverstärkten Mikrophonspannungen durch parallelgeschaltete Filter von jeweils einer Oktave Durchlassbreite geschickt und anschließend oszillographisch aufgezeichnet. Da im Gegensatz zum Tonfrequenzspektrometer der Klang kontinuierlich zerlegt wird, können mit diesem Prinzip auch schnelle An- und Abschwingvorgänge während der Phonation ohne weiteres erfasst werden (W. TRENDELENBURG, 40).

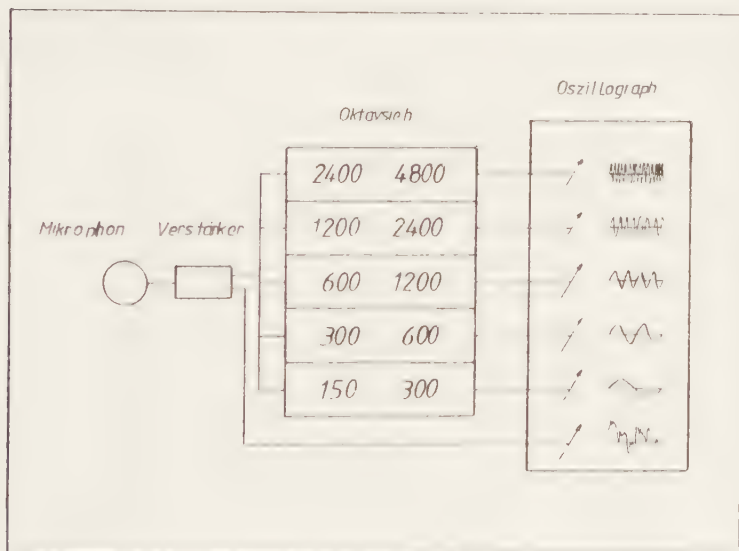


Abb. 2: Oktavsieboszillograph nach F. TRENDELENBURG und FRANZ

Sowohl die Tonfrequenzspektrometrie wie auch die Oktavsieboszillographie verlangen einen aufwendigen apparativen Aufbau, der noch zusätzlich eine filmische Speicherung des flüchtigen Oszillographenbildes mit einschloss. Deswegen wurden diese Verfahren für Routineuntersuchungen nicht verwendet.

2.2.2.3. Sonagraph nach KOENIG, DUNN und LACY (22)

Von allen frequenzanalytischen Verfahren zur Darstellung lautsprachlicher Zeichen hat sich der 1946 von KOENIG, DUNN und LACY entwickelte Sonagraph wohl am besten bewährt. Er kann Frequenzen und Amplituden einer 2,4 Sekunden langen Sprachprobe kontinuierlich aufzeichnen und vermittelt damit einen genauen Überblick über den physikalischen Aufbau der normalen und krankhaften Stimme und Sprache.

Sein Arbeitsprinzip (Abb.3, S.9): Die Sprachprobe wird auf einer Magnetscheibe gespeichert und abgespielt. Dabei begrenzt ein Filter einen bestimmten Frequenzbereich, und gleichzeitig werden die entsprechenden Spannungen auf einem Papierstreifen registriert. Danach stellt sich der Filter auf den benachbarten Frequenzbereich ein, und die Probe wird wieder abgespielt. Der Vorgang wird solange wiederholt, bis das ganze sprachwichtige Spektrum zwischen 85 und 8000 Hz erfasst ist. Die Filterbandbreite kann je nach der Fragestellung auf 45 oder 300 Hz eingestellt werden: Interessiert die harmonische Struktur des Klanges, wird man eine Schmalbandanalyse durchführen. Bei der Breitbandanalyse mit 300 Hz Filterbreite können die harmo-

nischen Vielfachen des Grundtons nicht mehr aufgelöst werden; dafür zeigt sich der zeitliche Verlauf der Formanten um so deutlicher. Formanten sind die Resonanzschwingungen des Ansatzrohres, die dem neutralen Stimmlippenklang die endgültige lauttypische Klangfarbe aufprägen.

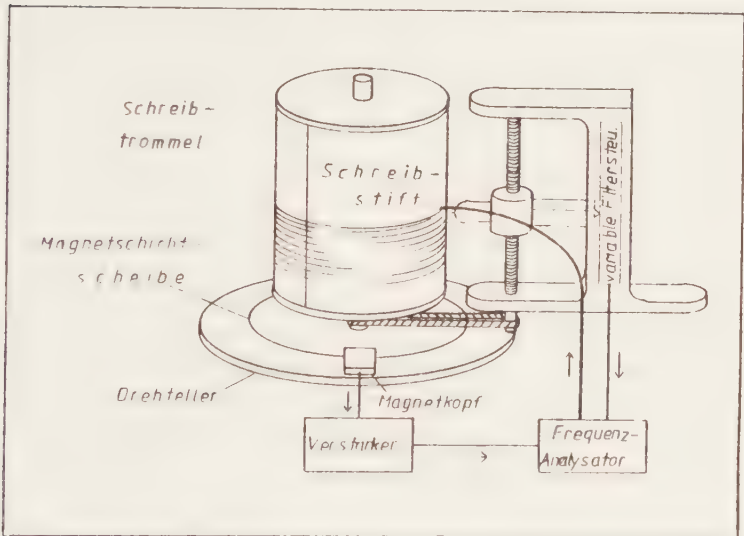


Abb. 3: Sonograph nach KOENIG, DUNN und LACY. Der Testtext über 2,4 s ist auf der Magnetschichtscheibe gespeichert. Diese Modulation wird mit dem Magnetkopf abgetastet und in fortlaufender Frequenzanalyse mit 45 oder 300 Hz Auflösung synchron auf die Trommel mit Wachsschicht aufgezeichnet.

In der harmonischen Struktur und den Formanten erfasst der Sonagraph elementare akustische Merkmale der Sprache, mit denen der Aufbau von Einzellaute, Lautübergängen und die gegenseitige Beeinflussung von Lauten sichtbar gemacht werden kann (FANT, 7). Auch Rhinolalien, Sigmatismen und verschiedene Grade der Heisserkeit, wie sie YANAGIHARA 1967 sonagraphisch klassifizierte (41), lassen sich dokumentieren. Mit diesen Möglichkeiten hat sich die Sonographie den Platz einer bewährten Standardmethode in der Phoniatrie und der experimentellen Phonetik erobert.

2.2.2.4. Voiceprint-Verfahren nach KERSTA (21)

Aus einem Sonagramm kann man die Größe der Signalamplitude nur grob abschätzen. Eine Weiterentwicklung durch KERSTA von 1962 geht dahin, das Spektrogramm in Form von Konturen zu gewinnen, die in sieben Abstufungen sieben Amplitudenstufen aufzeichnen können. Es erscheint dann eine Art topographische Karte, aus der Unterscheidungsmerkmale verschiedener Sprecher abzulesen sind. So ergibt sich ein Voiceprint-Verfahren- in Analogie zu fingerprint- zur Identifizierung, das in der Kriminalistik bereits angewendet worden ist. Allerdings sind nach Prüfung des Verfahrens von anderer Seite Zweifel an seiner Zuverlässigkeit geäußert worden (23).

2.3. Phoniatische Frequenzuntersuchungsverfahren mit Digitalrechnern

Die bisher genannten Verfahren haben die Aussagefähigkeit der Frequenzanalyse jedoch noch keineswegs erschöpft. Der Sonagraph zerlegt Sprachbeispiele von nur 2,4 Sekunden Dauer. Wie läßt sich das Frequenzbild längerer Sprachmuster bestimmen? Wie kann die Frequenzauflösung erhöht werden? Wie wird die Entschlüsselung und Bearbeitung der Informationen beschleunigt und ihre Dokumentation verbessert?

"Eine Computerauswertung, eine Computerdiagnose des elektroakustischen Aufbaus des Sprechvorganges ist bereits heute theoretisch vorstellbar", schreibt BÖHME 1972 (2, S.173).

2.3.1. Bisherige klinische Ergebnisse (GERRUL, GIESEN, MROWINSKI u.a., 12, 13)

Im gleichen Jahr bereits berichteten GERRUL, GIESEN, MROWINSKI u.a. vom Klinikum Westend, Berlin, über ihre vorläufigen Ergebnisse einer computeranalytischen Frequenzdarstellung von Stimmstörungen (13), die 1976 durch neue aus dem Routineeinsatz gewonnene Erfahrungen ergänzt wurden (12): Die Verfasser stellen aufgrund des laryngoskopischen und stroboskopischen Bildes einen Befundcode von 6 Gruppen verschiedener Stimmstörungen zusammen und vergleichen sie mit den frequenzanalytischen Werten eines gesprochenen [a]. Die Frequenzen werden mit einem Digitalrechner über einen Bereich von 0 bis 5 kHz mit einer Auflösung von 20 Hz analysiert. Die anschließend berechneten Mittelwerte der Formantamplituden innerhalb der Gruppen lassen u.a. hyperkinetische, hypokinetische Stimmgebung und eng umschriebene Stimmbandprozesse eindeutig voneinander abgrenzen.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUR COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE LÄNGERER SPRACHPROBEN

3.1. Vorüberlegungen

Durch die obigen Ergebnisse von GERRUL u.a. angeregt, führten wir in der Klinik für Kommunikationsstörungen in Mainz Frequenzanalysen durch. Jedoch konzentrierten sich unsere Untersuchungen auf die Computeranalyse von längeren Testtexten, die wir in der vorliegenden Arbeit von stimm- und sprechgesunden Probanden und in einer parallel hierzu laufenden Arbeit von Stimm- und Sprechkranken gewannen. Die Wahl längerer Testtexte von 10 bzw. 30 Sekunden Dauer im Gegensatz zu GERRUL u.a., die ihre Untersuchungen auf den gesprochenen Vokal [a] beschränkten, hatte den Sinn, vom Klangbild der einzelnen Phoneme unabhängig zu werden. GERRUL u.a. schließen auf pathologische Stimmeigenschaften aus dem pathologischen Frequenzspektrum eines Vokals. Wir beabsichtigten, ein textunabhängiges Sprachfrequenzspektrum gesunder Sprecher zu gewinnen, von dem pathologische Sprachfrequenzspektren abgegrenzt werden können.

3.2. Methodik zur Beschaffung der Rohdaten

3.2.1. Art, Aufnahme und Eingabe der Sprachbeispiele

Zur Untersuchung wählten wir männliche und weibliche Probanden in einem Alter zwischen 22 und 28 Jahren, die der deutschen Hochsprache akzentfrei mächtig waren. Nach vorheriger Einführung in ihre Aufgabe mußten sie zuerst denselben ungefähr einminütigen

Text lesen, der von seinem Inhalt her so ausgesucht war, daß er eine möglichst neutrale Einstellung des Sprechenden aufrechterhalten konnte (Abb. 4, S.17). Hiervon wurden in der späteren Untersuchung die ersten 30 Sekunden verwertet. Anschließend zählten die Probanden in einer vorgegebenen Zeit von 10 Sekunden die Zahlen 20 bis 30.

Die Sprachbeispiele wurden in einem schallabgeschirmten Raum mit einem Richtmikrofon Typ "Uher M 516" aufgenommen. Dabei hielt der Untersucher das Mikrofon ungefähr 10 cm etwas unterhalb vom Mund des Sprechers entfernt. Zur Reduktion des bei Richtmikrofonen auftretenden Nahbesprechungseffektes in Form einer Bassanhebung wurde das im Mikrofon eingebaute Kompensationsfilter auf "Sprache" gestellt. Der Übertragungsbereich umspannte das Frequenzspektrum von 50 bis 15.000 Hz mit einem Amplitudenabfall um 8 dB zwischen 50 und 100 Hz. Die Aufnahmen wurden auf einem Tonbandgerät Typ "Uher Report 4400" mit einer Bandgeschwindigkeit von 19 cm/s gespeichert.

Um Probanden mit pathologischen Klangkriterien von Stimme und Sprache vor der Analyse auszusondern, wurden die Aufnahmen von zwei Logopädinnen und einem Phoniater unabhängig voneinander beurteilt. Hierzu verwendeten sie einen einheitlichen Untersuchungsbogen (Abb. 5, S.18), in dem Stimmeinsatz, Kriterien des Stimmklanges, Nasalität, Tonhöhe, Sprechgeschwindigkeit und Dynamik als "normal", "noch normal" oder "pathologisch", das Vorhandensein eines Sigmatismus und die Dialektfärbung als "nicht vorhanden" oder "deutlich" bewertet werden sollten. Die Aufnahmen, bei denen ein Kriterium zweimal als "pathologisch", bzw. ein Sigmatismus oder die Dialektfärbung zweimal als "deutlich" bewertet wurde, wurden ausge-

schlossen. Nach dieser Auswertung standen uns die Sprachmuster von 38 männlichen und 37 weiblichen Probanden für die Analyse zur Verfügung.

Die Bandaufnahmen wurden nun über einen Filter-Vorverstärker Typ "Princeton PAR 113" auf einen Computer Typ "Plurimat S" der Firma Intertechnique überspielt. Die Charakteristik des Filters war auf einen Amplitudenabfall um 6 dB/Oktave ab den Eckfrequenzen von 1000 Hz und 10000 Hz festgelegt, wobei die Amplitudenabschwächung an den Eckfrequenzen schon 3 dB betrug. Wir führten die Tiefenabsenkung durch, um die großen Amplitudenunterschiede im Bereich des uns interessierenden Frequenzspektrums bis 10000 Hz zu reduzieren. - Da die Tiefenabsenkung den untersten Frequenzbereich am meisten betraf, und wir den Amplitudenabfall des Richtmikrofons um 8 dB zwischen 50 und 100 Hz noch in Kauf nehmen mußten, klammerten wir in den folgenden Untersuchungen die Frequenzen kleiner als 100 Hz aus.

Um die vom Tonbandgerät abgegebenen Spannungen an den A-D-Converter anzupassen, wurden sie mit einer konstant gehaltenen Vorverstärkung auf maximal ± 1 Volt begrenzt.

Nach der daraufhin folgenden Digitalisierung wurden die Daten bis zum Abruf des Analyseprogramms im Computer gespeichert.

3.2.2. Fourieranalyse der Sprachbeispiele zu Frequenzmustern und Berechnung der Leistungsdichtespektren

Als Ergebnis der Dateneingabe lagen die Sprachmuster nun als digitalisierte Amplituden-Zeit-Signale im

Speicher des Computers vor. Die anschließende Analyse bezweckte die Umwandlung der Sprachbeispiele in ein Amplituden-Frequenz Spektrum.

Die theoretische Grundlage hierzu liefert das Theorem von FOURIER (38, S.7-18): Nach ihm läßt sich jede Art von noch so verwickelten Schwingungen als Superposition einer Reihe von einfachen harmonischen Schwingungen darstellen, deren Frequenzen natürliche Vielfache der Grundfrequenz sind. Für eine Funktion $F(t)$, die im Bereich $T = t_2 - t_1$ stetig ist, gilt:

$$F(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n \frac{2\pi t}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos n \frac{2\pi t}{T} + \frac{1}{2} a_0$$

T heißt Grundperiode, $\frac{T}{2}, \frac{T}{3}, \dots$ sind die Perioden der höheren Partialschwingungen. a_0 bis a_n, b_1 bis b_n heißen Fourierkoeffizienten. Sie bestimmen als Amplitudenmaximum der jeweiligen Partialschwingung mit der Grundperiode das Klangbild der Gesamtschwingung.

Die primär für kontinuierliche Zeit-Signale beschriebene Fouriertransformation läßt sich für diskrete Signale, wie sie in Digitalrechnern vorliegen, umformen. Nach einem von COOLEY und TUKEY entwickelten Algorithmus (5) kann die diskrete Fouriertransformation mit einem wesentlich geringeren Aufwand an Operationen angewandt, und die Rechenzeit damit sehr verkürzt werden (Fast Fouriertransformation) (6). Von den fouriertransformierten Kurven ausgehend, kann jeder Frequenz auch ihre zugehörige Energieamplitude zugeordnet werden. Dieses sogenannte Leistungsdichtespektrum erhält man durch die konjugiert komplexe Multiplikation der Fourierkoeffizienten (28, S.76-78).

Die Fast Fouriertransformation und die Berechnung des Leistungsdichtespektrums führten wir bei unseren Analysen mit dem oben bezeichneten Computer durch, den wir auch bei den anschließenden Untersuchungen verwandten.

Bei den Sprachmustern interessierte uns der Frequenzbereich zwischen 100 und 10000 Hz. Unter Berücksichtigung des Nyquist-Theorems, nach dem die Abtastrate mindestens doppelt so groß sein sollte, wie die höchste Frequenz, die in der zu analysierenden Schwingung interessiert (28, S. 43-45), wählten wir eine Abtastrate von 20000 Hz. Zur Darstellung des Frequenzbereiches benutzten wir 2048 Datenpunkte; hieraus folgt eine Auflösung von 5 Hz pro Punkt.

Im ersten Analyseschritt wurden die Amplituden-Zeit-Signale von 30 bzw. 10 Sekunden Länge in Abschnitten von 200 ms der Fast Fouriertransformation unterzogen. Anschließend wurden die zugehörigen Leistungsdichtespektren bestimmt. Im dritten Schritt wurden die Leistungsdichtespektren aller Abschnitte eines Amplituden-Zeit-Signals gemittelt. Als Ergebnis der Rohdatenanalyse lag nun das Leistungsdichtespektrum von jedem Sprachbeispiel im Frequenzbereich zwischen 0 und 10000 Hz mit einer Auflösung von 5 Hz pro Punkt vor.

Unser Vorgehen zur Beschaffung der Rohdaten ist in den Blockschaltbildern der Abb. 6 und 7 noch einmal dargestellt.

Die Ausstellung "Wiener Schule des Phantastischen Realismus" in der Salzburger Residenzgalerie findet im Rahmen des Bundesländerprogramms der Stadt Wien statt. Die gleiche Ausstellung wurde bereits im Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum und in Klagenfurt gezeigt. Es sind in dieser Ausstellung Werke zu sehen, welche die Wiener Stadtverwaltung aus Mitteln der Kunstförderung erworben hat. Die Ankaufstätigkeit ist neben der Erteilung von künstlerischen Aufträgen eine der wichtigsten Maßnahmen der öffentlichen Hand zur Förderung der bildenden Kunst.

Die Bilder des "Phantastischen Realismus" die heute hohes Ansehen genießen, kamen zum Teil schon vor vielen Jahren in den Besitz der Stadt Wien. Zu einer Zeit also, da sie noch kaum geschätzt wurden und das Interesse eines größeren Publikums noch sehr gering war. Mit dem Interesse wuchs auch der Wert der Bilder, was den Eigentümer natürlich freut.

Ich begrüße die Möglichkeit, diese Ausstellung aus dem Besitz der Stadt Wien nun auch in Salzburg zeigen zu können und wünsche ihr viel Erfolg.

Abb. 4: Der ungefähr einminütige Testtext, von dem in der späteren Untersuchung die ersten 30 s verwertet wurden.

NAME	
STIMMEINSATZ	verhaucht ← <i>p</i> <i>nn</i> <i>n</i> <i>nn</i> <i>p</i> → gepresst
STIMMKLANG	
NASALITÄT	→ Rhinolalia aperta ← clausa <i>n</i> <i>nn</i> <i>p</i>
SIGMATISMUS nicht vorhanden ☐ deutlich ☐	
SPRECHGESCHWIND.	<i>n</i> <i>nn</i> <i>p</i>
SPRECHTONHÖHE	<i>n</i> <i>nn</i> <i>p</i>
DYNAMIK	<i>n</i> <i>nn</i> <i>p</i>
DIALEKT nicht vorhanden ☐ deutlich ☐	

Abb. 5: Auswertungsbogen zur subjektiven Beurteilung der Stimm- und Sprechqualitäten der Probanden.

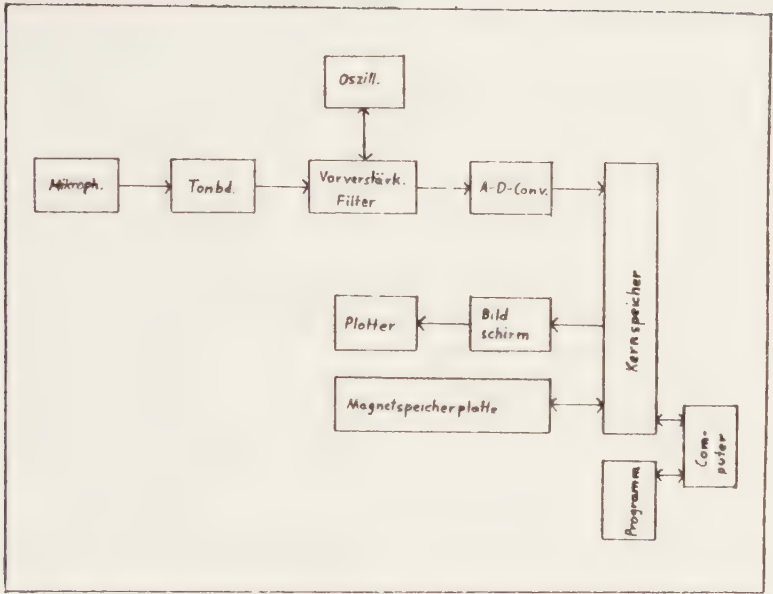


Abb. 6: Blockschaltbild über die Datenbeschaffung und -verwertung.

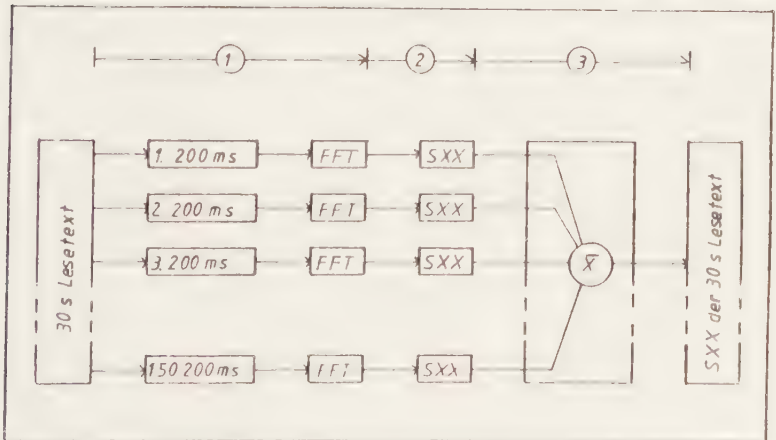


Abb. 7: Berechnung des Leistungsdichtespektrums über 30 s Lesetext:

1. Fast Fouriertransformation (FFT) von jeweils 200 ms Text.
2. Berechnung des Leistungsdichtespektrums (SXX) der foriertransformierten Daten.
3. Mittelung der einzelnen Leistungsdichtespektren.

3.3. Problemstellungen und Untersuchungen

3.3.1. Mittleres Leistungsdichtespektrum für Männer und Frauen

Ein Ziel der Arbeit war die Berechnung und Beschreibung der gemittelten Leistungsdichtespektren für die Gruppe der Männer und die der Frauen, um hieraus gegebenenfalls geschlechtsspezifische Merkmale des Sprach- und Stimmklangs aufzudecken. Das Leistungsdichtespektrum erhält man, wie auf S. 16 dargestellt, durch die konjugiert komplexe Multiplikation der Fourierkoeffizienten eines Zeit-Signals. Es ordnet jeder in diesem Signal vorkommenden Frequenz ihre zugehörige Energieamplitude zu.

Vorab reduzierten wir die mit 2048 Datenpunkten dargestellten Spektren auf 512 Punkte mit einer daraus folgenden Frequenzauflösung von 20 Hz pro Punkt, indem wir jeweils vier benachbarte Datenpunkte zu einem arithmetisch gemittelten Datenpunkt zusammenfassten (Blocksize reduktion). Dies diente der Verkürzung der nachfolgenden Rechenzeit, ohne daß wir eine Einschränkung der angezielten Genauigkeit in Kauf nehmen mussten. Anschließend berechneten wir das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und den Variationskoeffizienten der Amplituden eines jeden der 512 Frequenzpunkte. Der Variationskoeffizient drückt die Standardabweichung in Prozenten des arithmetischen Mittels aus (4, S.88 f.). Wir bestimmten diese Werte für die Gruppe der Frauen (n=37) und die Gruppe der Männer (n=38) und anschließend für die zusammengefasste Gruppe aus Männern und Frauen (n=75). Diese Berechnung beschränkten wir auf die Leistungsdichtespektren des 30 Sekunden dauernden Textes.

3.3.2. Inter- und intraindividueller Vergleich von Leistungsdichtespektren

Ein weiteres Ziel unserer Untersuchungen war der Vergleich von interindividuellen Unterschieden von Stimm- und Sprachklang bei gleichem Lesetext mit intraindividuellen Unterschieden bei unterschiedlichem Lesetext.

Wir ließen hierzu einen stimmlich und sprachlich unauffälligen Sprecher einen zusammenhängenden Text von 10 Minuten Dauer lesen und gewannen nach der in Abschnitt 3.2. beschriebenen Methode die Leistungsdichtespektren von 20 Sprachstücken mit 30 Sekunden Dauer. Auch von diesem Material berechneten wir das gemittelte Leistungsdichtespektrum, die Kurve der Standardabweichungen und die Kurve der Variationskoeffizienten mit 512 Punkten. Diese Werte verglichen wir mit den für die erste Fragestellung (Abschnitt 3.3.1.) gewonnenen Werten.

3.3.3. Bestimmung der mittleren Grundfrequenz für Männer und Frauen

Die hohe Auflösung unserer nicht reduzierten Leistungsdichtespektren mit 5 Hz pro Punkt bot Untersuchungen der Grundfrequenz und ihrer harmonischen Vielfachen an. Hierbei war folgendes zu beachten: Da die Sprecher in ihrer Sprechtonhöhe geschwankt hatten, stellten die Leistungsdichtespektren natürlich keine eindeutigen Grund- und Obertöne dar, sondern immer nur Grundton- und Obertonbereiche. Um dennoch eindeutige Frequenzwerte zu erhalten, beschränkten wir unsere Auswertungen auf die Spektren, die wir durch Zählen über 10 Sekunden gewonnen hatten.

Wir definierten zur Erhöhung der Genauigkeit als Grundfrequenz f_o eines Sprechers das arithmetische Mittel aus dem absoluten Amplitudenmaximum des Grundton- und des ersten Obertonbereiches:

$$f_o = \frac{f_{o \text{ abs}} + f_{1 \text{ abs}}}{2}$$

Dieser Wert kommt der tatsächlichen Grundfrequenz näher als das absolute Amplitudenmaximum des Grundtonbereiches allein, da Fehler durch Auf- und Abrundungen, die sich aus der Grenze der Auflösung ergeben, verringert werden. Aus den so gewonnenen Grundfrequenzen berechneten wir das arithmetische Mittel der Grundfrequenzen der Männer- und der Frauengruppe.

3.3.4. Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und zugehöriger Obertonfrequenzbereiche

Manche Grundfrequenzbereiche zeigten offenbar oder aber auch versteckt mehrere Maxima, je nachdem wie die Stimme in ihrer Tonhöhe während der Aufnahme schwankte (s. Bsp. in Abb. 8, S.23). Diese Maxima lassen sich in den Obertonbereichen oft deutlicher oder erst überhaupt trennen, denn die Frequenzabstände zwischen zwei Maxima nehmen um den Faktor i , der der Nummer des betroffenen Obertonbereiches entspricht, zu:

$$(f_{o,j+1} - f_{o,j}) \times i = f_{i,j+1} - f_{i,j}$$

j entspricht der Nummer des Maximums im jeweiligen Grundfrequenz- bzw. Obertonbereich. Anhand dieser Beziehung versuchten wir den Aufbau eines Grundfrequenzbereiches zu verdeutlichen.

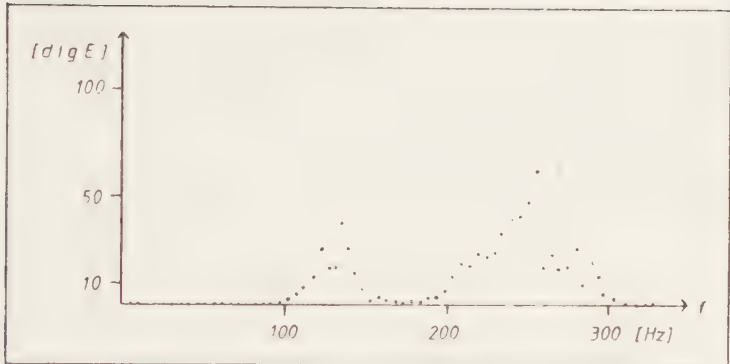


Abb. 8: Leistungsdichtespektrum Franz D. in linearer Darstellung über 30 s Testtext: Der Grundfrequenzbereich von 100 bis 150 Hz und der erste Obertonbereich von 200 bis 300 Hz weisen wegen der Tonhöhenschwankungen während des Sprechens mehrere Maxima auf.

3.4. Ergebnisse und Diskussion

3.4.1. Mittleres Leistungsdichtespektrum für Männer und Frauen

Die mittleren Leistungsdichtespektren bei Männer und Frauen sind in den Kurven der Abb. 9, S.28 dargestellt. Man erkennt eine deutliche Formverwandtschaft der Kurven, die sich sowohl in der Lage der Maxima und Minima, wie auch im Gesamtbild der Kurven zeigt. Ihre Verläufe bieten eine Aufteilung in vier Abschnitte an (Tab. 1):

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Kuppelförmiger Verlauf bis 1000 Hz | (Männer) |
| | bzw. 1125 Hz (Frauen) |
| 2. Abfall | bis 4100 Hz |
| 3. Kuppenförmiger Verlauf bis 6200 Hz | |
| 4. Endstück mit einer abfallenden Tendenz bei den Männern und horizontalem Verlauf bei den Frauen | |

Tab. 1: Gemittelte Leistungsdichtespektren der Männer und Frauen über 30 s Testtext in der abschnittsweisen Gliederung, wie sie sich aus der logarithmischen Darstellung ergibt.

Die Verteilung der Schallenergie kommt in der linearen Darstellung deutlicher zum Ausdruck (Abb. 10, S.29f.). Die beiden Spektren umfassen von den ersten Maxima bei 234 Hz (Männer) und 215 Hz (Frauen) bis zu den Minima im Bereich von 9000 bis 10000 Hz eine Dynamik von etwa 36 dB. Hierbei ist noch nicht die Tiefenabsenkung durch den Vorverstärker berücksichtigt, die bei 250 Hz 15 dB beträgt. Mit ihr ergibt sich ein Energieabfall

von den beiden obigen Maxima bis zum Endstück der Leistungsdichtespektren um 50 dB. Um die Verteilung der Schallenergie noch mehr zu verdeutlichen, seinen die Energiewerte an den Eckpunkten, die sich aus der logarithmischen Darstellung ergaben (Tab. 1, S. 24) in linearen Relativwerten genannt (Tab. 2):

M ä n n e r					
Eckfrequ. (Hz)	234	1000	4100	6200	10000
lineare dig. E.	ohne Tiefen absenkung 60800	153	6	3	1
dB	48				

F r a u e n					
Eckfrequ. (Hz)	214	1125	4100	6200	10000
lineare dig. E.	ohne Tiefen absenkung 150300	186	5	3	4
dB	47				

Tab. 2: Energiewerte an den Eckfrequenzen der Kurvenabschnitte aus den logarithmierten gemittelten Leistungsdichtespektren der Männer und der Frauen. Die dB-Werte sind auf die jeweils niedrigsten Energiewerte bezogen (10000 Hz mit 1 bzw. 4 lin. dig. E.)

Bei ungefilterter Darstellung der linearen Leistungsdichtespektren (Abb. 11, S. 31) erweist sich das Maximum der Männerstimmen bei 234 Hz als das erste harmonische Vielfache der gemittelten Grundfrequenz ($f_0 = 121$ Hz, Abschn. 3.4.3., S.41), das erste Maximum der Frauenstimmen repräsentiert deren gemittelte Grundfrequenz selbst ($f_0 = 209$ Hz, Abschn. 3.4.3., S. 41). Auch deren erste und zweite harmonische Vielfache sind deutlich erkennbar. Die Maxima um 1000 Hz und 1125 Hz (Abb. 9, S. 28) könnten als die Präsenz des ersten Formanten des Phonems [a] und des zweiten Formanten des Phonems [u] aufgefasst werden, wenn man die Frequenzdiagramme der Formanten nach PETERSON und BARNEY (31) oder nach FOULKES (10) zugrundelegt. Ein Formantmaximum um 3000 Hz, welches nach WINCKEL ein Gütezeichen für die Tragfähigkeit einer Stimme ist (27, S.87), zeigten unsere Kurven nicht.

Zum geschlechtsspezifischen Vergleich der Leistungsdichtespektren schrieben wir die Flächen, die von den einfachen Standardabweichungen der gemittelten Leistungsdichtespektren der Männer- und Frauenstimmen eingerahmt werden, übereinander (Abb. 12, S. 32). Man erkennt, daß die von $\bar{x}_i f(f) \pm s_i f(f)$ abgegrenzten Flächen von beiden Gruppen sich im ganzen Frequenzspektrum überlappen. Bei einer so ausgeprägten Überschneidung der einfachen Streubreiche erübrigt sich eine Signifikanzprüfung auf Unterschiede der Mittelwertskurven, zumal dies den Aufwand von 512 t-Tests verlangt hätte ohne voraussehbaren Erfolg. Die Kurven der entsprechenden Variationskoeffizienten (Abb. 13, S.33) zeigen, daß abgesehen von einigen Frequenzbereichen unter 3000 Hz die einfachen Standardabweichungen größer sind

als die dazugehörigen Mittelwerte. Eine kleinere Standardabweichung hätte nur bei einer wesentlichen Vergrößerung der Gruppen erreicht werden können.

Aus der Betrachtung der gemittelten Leistungsdichtespektren der Männer- und Frauengruppe lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

1. Tab. 2 macht deutlich, daß die Hauptmenge der Schallenergie in den beiden untersuchten Gruppen mit Frequenzen unter 4100 Hz übertragen wird.
2. Auch wenn die ersten Amplitudenmaxima der Leistungsdichtespektren augenscheinlich den geschlechtsspezifischen mittleren Grundfrequenzen und deren ersten harmonischen Vielfachen zugeordnet werden können, lassen sich statistisch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestimmen, da beider Streuung zu groß ist.
3. Es läßt sich vermuten, daß ein aus gesunden Sprechern unter unseren Versuchsbedingungen gemitteltes Leistungsdichtespektrum zur statistischen Abgrenzung gegenüber pathologischen Stimmen eines größeren Gruppenumfangs bedürfte, denn schon die Spektren der einzelnen stimmlich und sprachlich unauffälligen Sprecher unterscheiden sich stark, wie ihre große Streuung verdeutlicht.

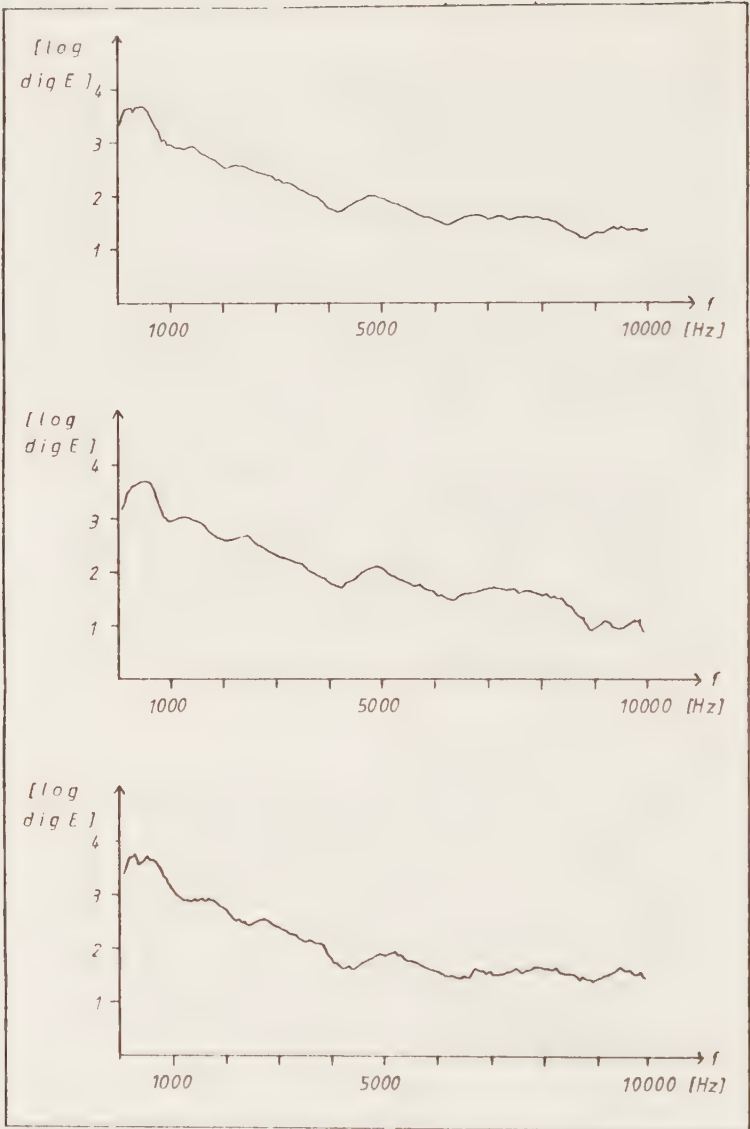


Abb. 9: Gemittelte Leistungsdichtespektren über 30 s Testtext in logarithmischer Darstellung von 0 bis 10000 Hz. Oben: Männer (n=38) und Frauen (n=37). Mitte: Männer. Unten: Frauen.

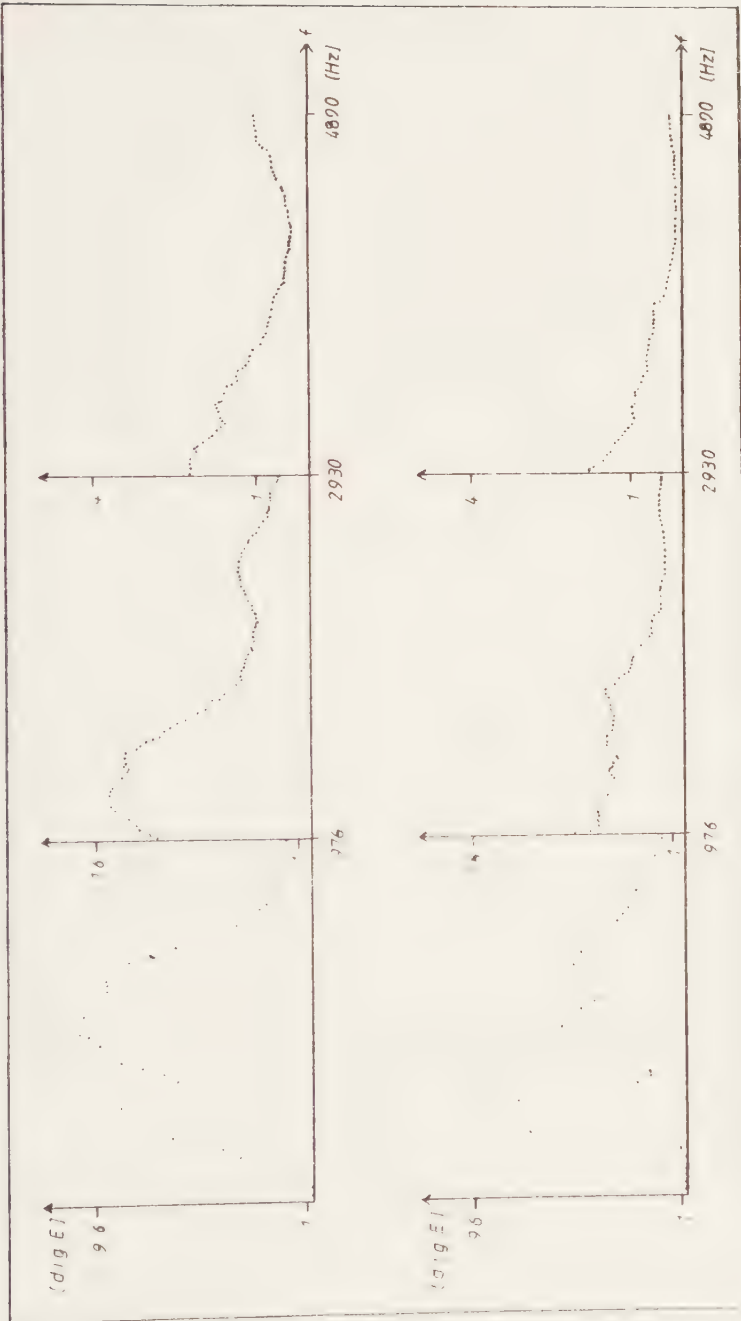


Abb. 10a: Gemittelte Leistungsdichtespektren über 30 s Testtext in linearer Darstellung von 0 bis 4890 Hz. Oben: Männer (n=38). Unten: Frauen (n=37).

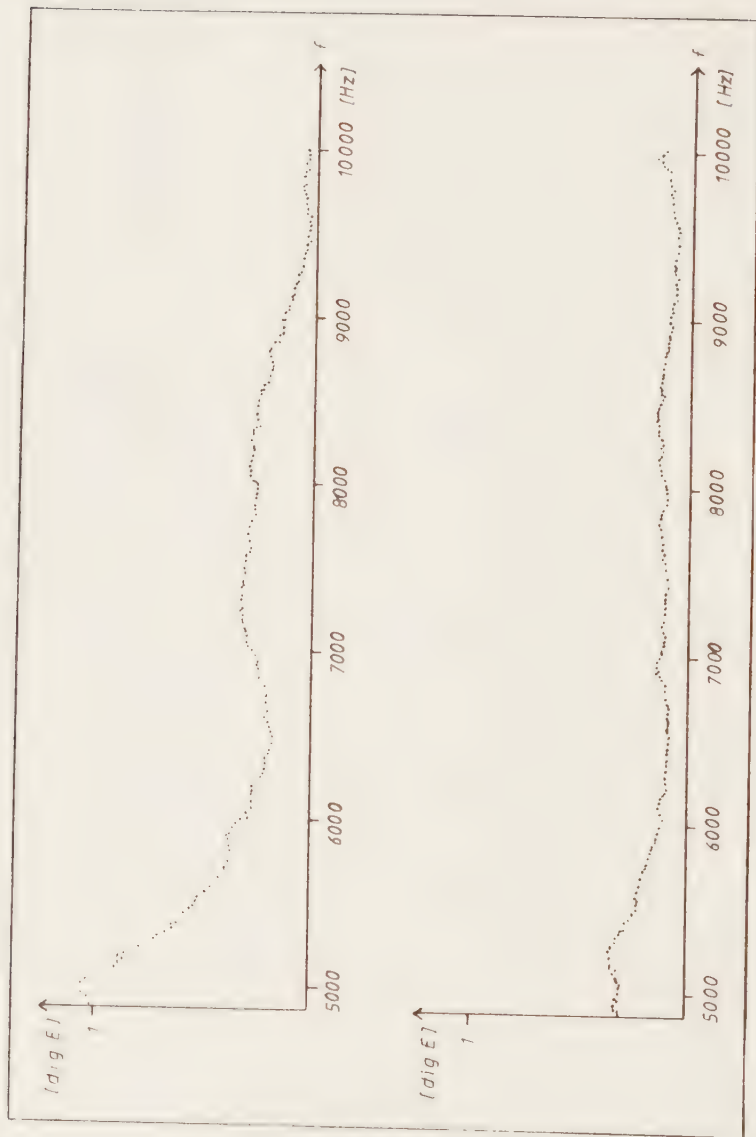


Abb. 10b: Gemittelte Leistungsdichtespektren über 30 s Testtext in linearer Darstellung von 4890 bis 10000 Hz. Oben: Männer (n=38). Unten: Frauen (n=37).

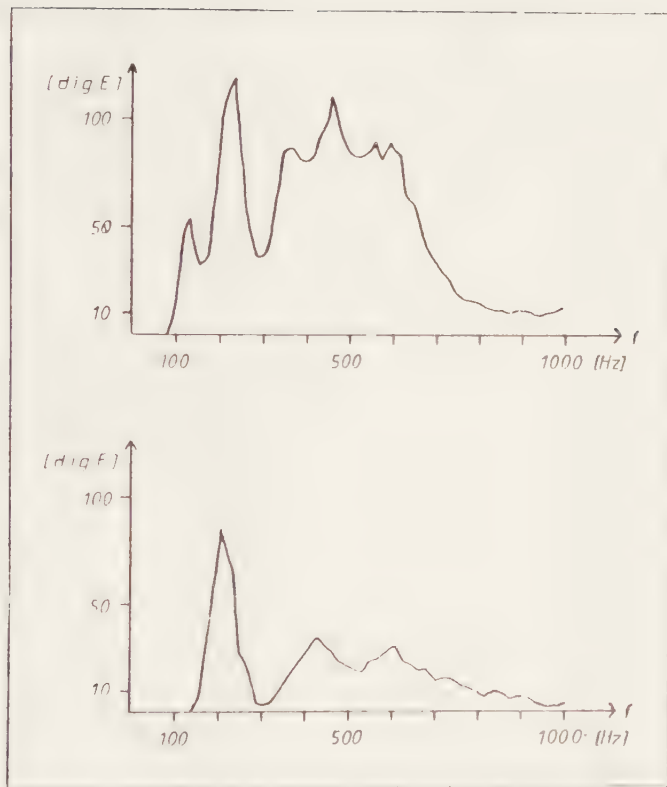


Abb. 11: Gemittelte Leistungsdichtespektren über 30 s Testtext in linearer Darstellung von 0 bis 1000 Hz. Oben: Männer (n=38). Unten: Frauen (n=37).

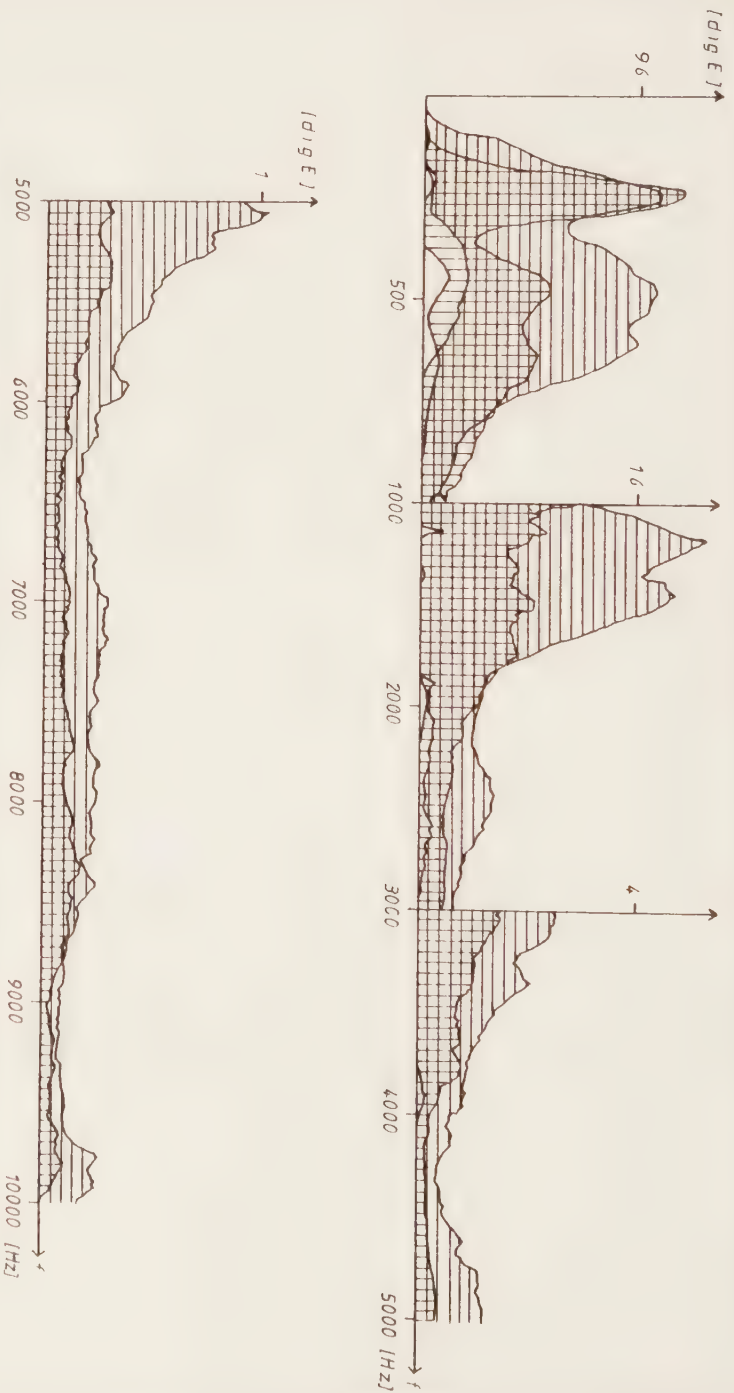


Abb. 12: Abweichungen der Standardabweichungen s_i von den Mittelwerten m_i der Kurven der gemittelten Leistungsdichtespektren der Männer ($n=38$) und der Frauen ($n=37$): $\bar{y} = \bar{x}_i - s_i$. Lineare Darstellung, 0 bis 10000 Hz. Senkrecht schraffiert: Abweichungen von den Mittelwerten der Frauengruppe; waagrecht schraffiert: Abweichungen von den Mittelwerten der Männergruppe.

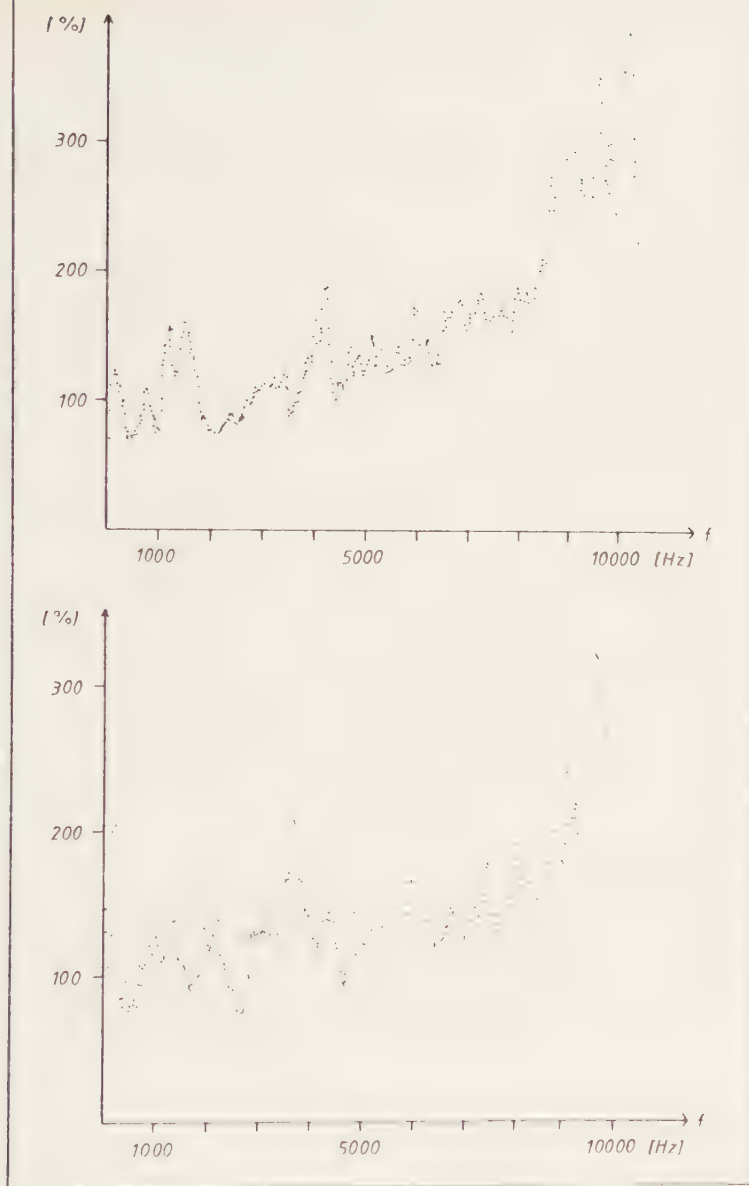


Abb. 13: Die Kurven der Variationskoeffizienten

$$v_i = \frac{100 \times s_i}{x_i} \text{ berechnet aus den Standardab-}$$

weichungen s_i und den Mittelwerten x_i der gemittelten linearen Leistungsdichtespektren der Männer ($n=38$) (oben) und der Frauen ($n=37$) (unten). 30 s Text. Deutlich ist zu erkennen, daß abgesehen von einigen Frequenzbereichen unter 3000 Hz die einfachen Standardabweichungen s_i größer sind als die entsprechenden Mittelwerte x_i .

3.4.2. Inter- und intraindividueller Vergleich von Leistungsdichtespektren

Zur statistischen Abgrenzung des Leistungsdichtespektrums eines Probanden gegenüber einem gemittelten Normleistungsdichtespektrum, welches aus einer großen Gruppe von gesunden Sprechern gewonnen wurde, sind auch die intraindividuellen Variationen der Einzelstimme von wichtiger Bedeutung.

Abb. 14 (S. 36 ff.) zeigt eine Folge von Leistungsdichtespektren über 30 Sekunden desselben Sprechers bei unterschiedlichem Lesetext in logarithmischer Darstellung. Die Formverwandtschaft der Kurven ist besonders im Bereich der ersten 4500 Hz augenscheinlich. Aber auch im höheren Frequenzbereich treten die Maxima, wenn sie erscheinen, an den gleichen Stellen auf. Die in Abb. 15 (S. 40) festgehaltene Folge der Variationskoeffizienten zeigt, daß die Streuungen um die Mittelwerte bis 4500 Hz nur um den Bereich von 20 bis 45 % schwanken. Danach steigen sie auf Werte um 100% der entsprechenden Mittelwerte an und erreichen zwischen 7500 Hz und 10000 Hz Werte um 100 bis 250% der zugehörigen Mittelwerte. Im Vergleich zu diesem Beispiel sei auf die Werte der Standardabweichungen der Männer- und Frauengruppe in dem Abschn. 3.4.1., Abb. 13, S.33 verwiesen, die unter 7000 Hz Standardabweichungen mit über 100 % des entsprechenden Mittelwertes aufweisen.

Als Ergebnisse lassen sich für diesen Vergleich folgern:

1. Die gemittelten Leistungsdichtespektren bei gleichem Text und unterschiedlichen Sprechern weisen wesentlich größere Standardabweichungen auf als

die gemittelten Leistungsdichtespektren bei unterschiedlichem Text bei der gleichen Person. Ihre Variationskoeffizienten verhalten sich im Bereich von 0 bis 4500 Hz wie 1:3 bis 1:5. Zu analogen Ergebnissen kommen LI und HUGHES (25). Sie verglichen gemittelte Frequenzspektren, welche sie aus Beispielen mit 30 Sekunden dauerndem kontinuierlichem gleichem Lesetext gewannen, inter- und intraindividuell und erfassten die Unterschiede mit Korrelationsmatritzen. Bemerkenswert ist die Feststellung, daß eine Zeit von 30 Sekunden die unterste Grenze für die Dauer der Sprachbeispiele ist, um stabile Vergleichswerte zu erhalten (LI, HUGHES, HOUSE, 26).

2. Bei einer Dauer des Lesetextes von 30 Sekunden schlagen sie die sprecherspezifischen Klangeigenschaften von Stimmgenerator (Glottis) und Ansatzrohr (der über der Glottis bis zu den Lippen befindliche Raum) stärker nieder als der Text.
3. Zur statistischen Abgrenzung von pathologischen und normalen Sprechern dürfte dem Frequenzbereich von 0 bis 4500 Hz die Hauptbedeutung zukommen, da in ihm die Leistungsdichtespektren am wenigsten variieren, und er damit den Bereich der höchsten Klangspezifität eines Sprechers erfaßt.

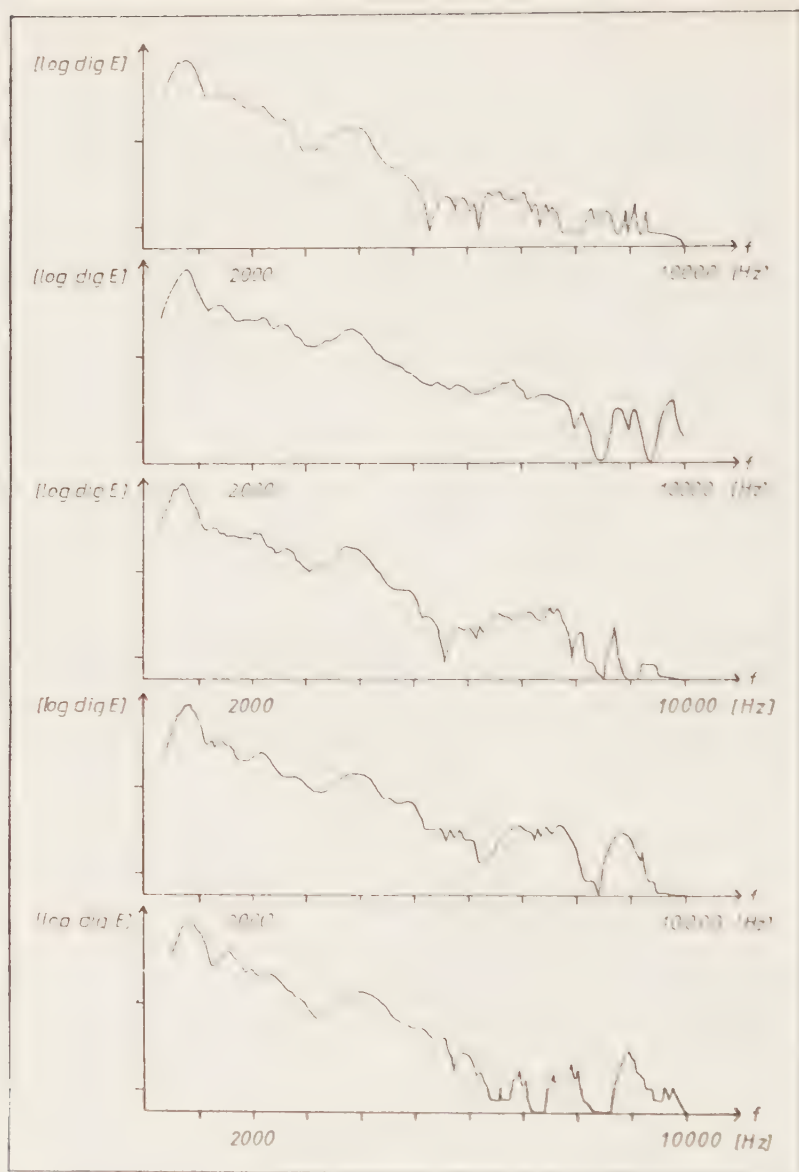


Abb. 14a-d: Serie von 12 Leistungsdichtespektren über 30 s mit unterschiedlichem zusammenhängendem Testtext in logarithmischer Darstellung von 0 bis 10000 Hz. Vorletzte u. letzte Kurve von Abb. 14d: Gemittelttes Leistungsdichtespektrum und Kurve der Standardabweichungen von der Serie der Leistungsdichtespektren von Volker L.

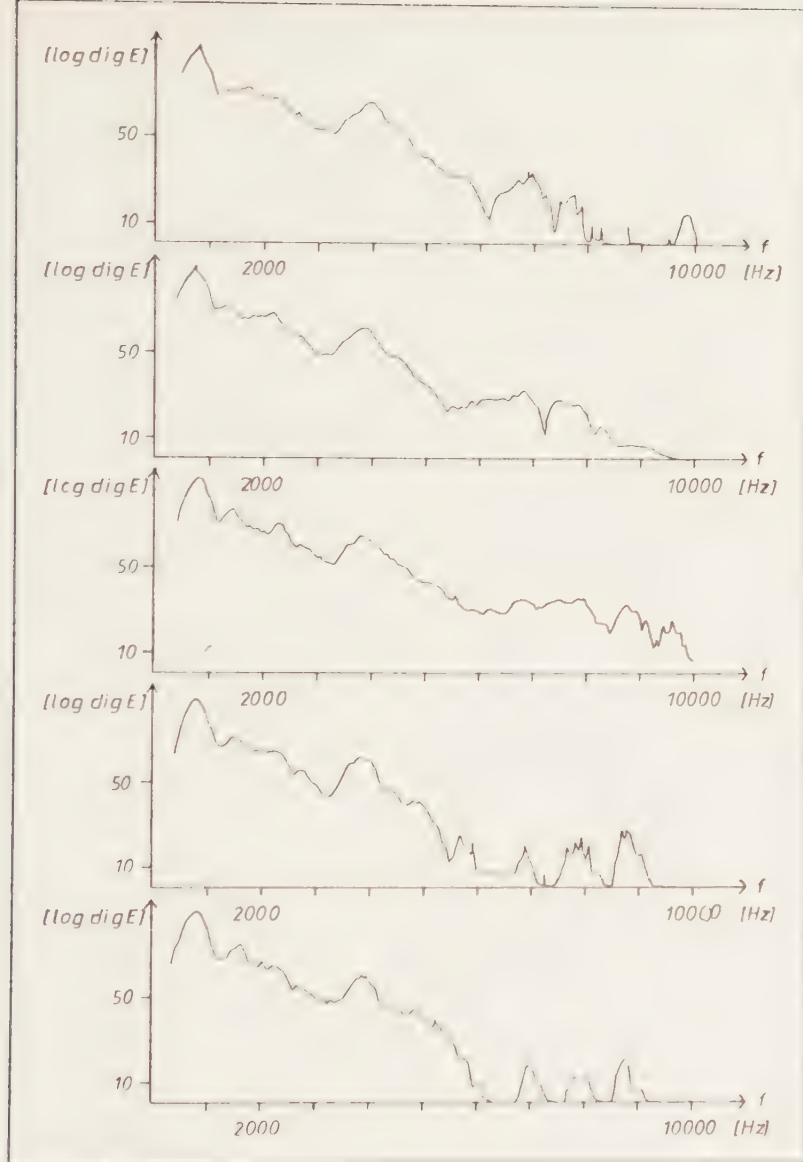


Abb. 14b: Serie von 19 Leistungsdichtespektren über 30 s mit unterschiedlichem zusammenhängendem Testtext in logarithmischer Darstellung.

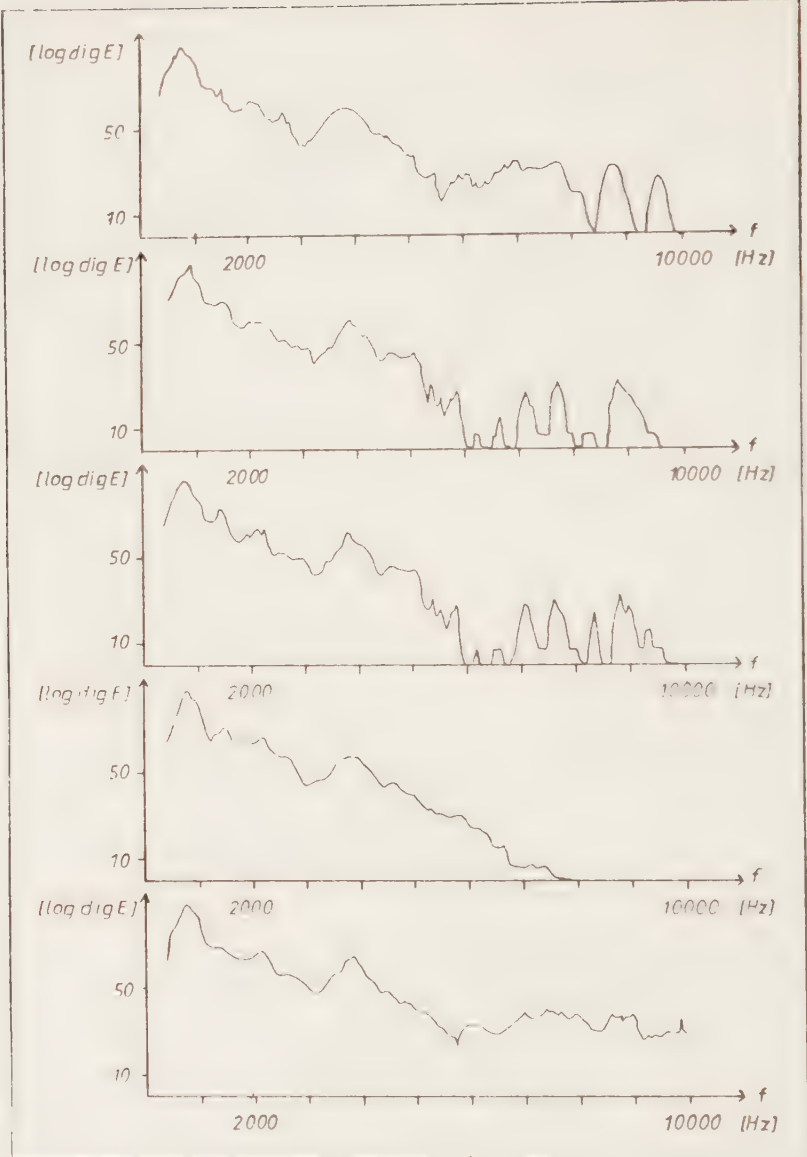


Abb. 14c: Serie von 19 Leistungsdichtespektren über 30 s mit unterschiedlichem zusammenhängendem Testtext in logarithmischer Darstellung.

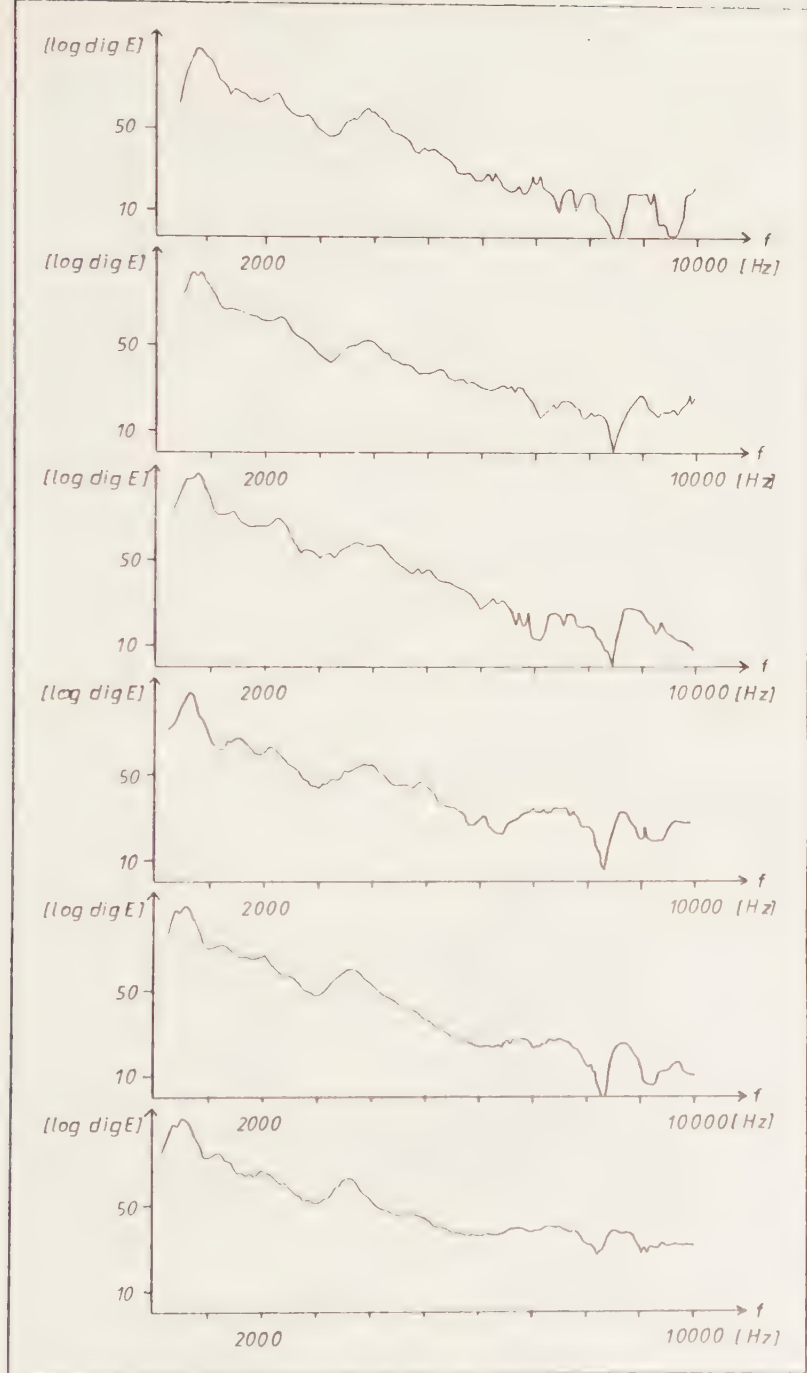


Abb. 14d: Vorletzte u. letzte Kurve: Gemitteltes Leistungs-
dichtespektrum u. Kurve der Standardabweichungen
der Serie der Leistungs dichtespektren Volker L.

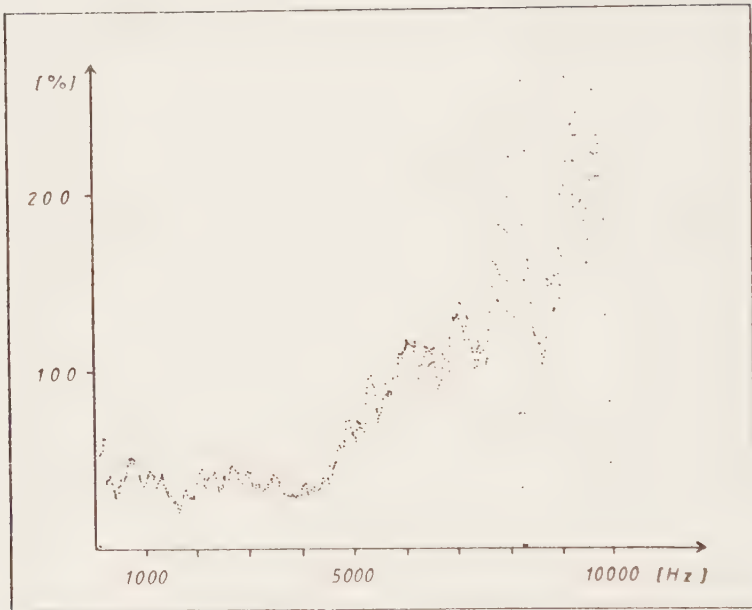


Abb. 15: Kurve der Variationskoeffizienten $V = \frac{100 \times s_i}{x_i}$

berechnet aus den Standardabweichungen s_i und den Mittelwerten x_i des gemittelten linearen Leistungsdichtespektrums von Volker L. Das gemittelte Leistungsdichtespektrum wurde über 20 Leistungsdichtespektren mit jeweils 30 s Testtext berechnet.

Bis 4500 Hz schwanken die Beträge der Standardabweichungen s_i nur um 20 bis 45% der entsprechenden Mittelwerte x_i . Beim Vergleich mit Abb. 13 wird deutlich, daß die intraindividuellen Unterschiede dieser Einzelstimme bei unterschiedlichem Testtext wesentlich geringer sind als die interindividuellen Unterschiede bei gleichem Testtext.

3.4.3. Bestimmung der mittleren Grundfrequenz für Männer und Frauen

Die Verteilung der Grundfrequenzen der Männer und Frauen ist im Histogramm der Abb. 16, S.41 dargestellt. Nach dem im Abschnitt 3.3.3. beschriebenen Verfahren ermittelten wir für die gemittelten Grundfrequenzen die in Tab. 3 angegebenen Werte:

Männer n=38	Frauen n=37
$\bar{f}_0 = 121 \text{ Hz}$	$\bar{f}_0 = 209 \text{ Hz}$
$s = 15 \text{ Hz}$	$s = 20 \text{ Hz}$
$V = 12 \%$	$V = 10 \%$

Tab. 3: Gemittelte Grundfrequenz $\bar{f}_0$, Standardabweichung s , Variationskoeffizient V der untersuchten Männer- und Frauengruppe

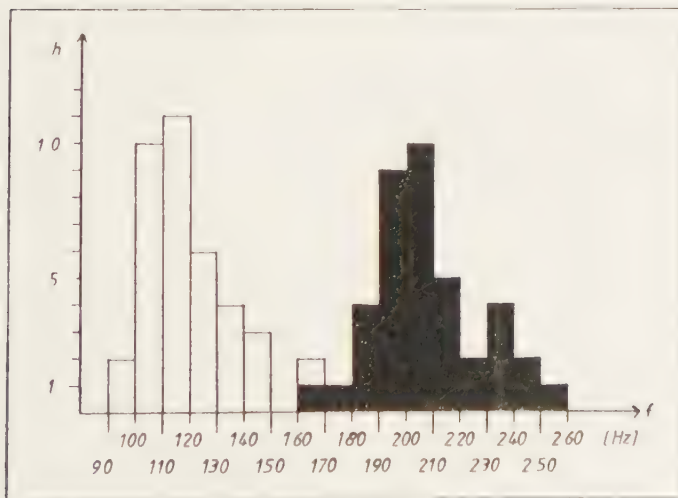


Abb. 16: Histogramm über die Verteilung der Grundfrequenzen der Männer (n=38, weiss) und der Frauen (n=37, schwarz).

Zum Vergleich mit unseren Werten sind die Ergebnisse anderer Untersucher in Tab. 4 aufgezählt:

	Studien	n	Alter	$\bar{f}_o$
Männer	Vorliegende Studie	38	22-28	121
	HOLLIEN, SHIP (18)	175	20-29	120
	HANLEY (16)	27	20-29	119
	HOLLIEN, JACKSON (17)	157	20-29	127
	PHILHOUR (32)	24	20-29	132
	PRONOVOST (33)	6	20-29	132
Frauen	Vorliegende Studie	37	22-28	209
	MICHEL et al.	148	17	207,8
	LINKE	27	junge Erw.	199,8
	SAXMAN, BURK	9	30-40	196,3
	McGLONE, HOLLIEN	10	72	199,6

Tab. 4: Gemittelte Grundfrequenzen der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu Studien anderer Untersucher. Die zitierten Werte der Frauenstimmen sind bei SAXMAN, BURK (34) entnommen.

Sowohl bei der Gruppe der Männer wie auch bei der der Frauen liegen die Werte der mittleren Grundfrequenz $\bar{f}_0$ der in der Tab. 4 aufgezählten Studien im Bereich der einfachen Standardabweichung der eigenen Untersuchung. Bei den Männerstimmen weichen die Ergebnisse der älteren Untersuchungen von PHILHOUR (1948) und PRONOVOST (1942) am meisten von unseren Werten ab, die mit denen von McGLONE und SHIP (1972) und HANLEY (1951) nahezu übereinstimmen. Bei den Frauenstimmen können die Untersuchungen von SAXMAN und BURK (1967) wie von McGLONE und HOLLIEN (1963) nur bedingt zum Vergleich herangezogen werden, da sie andere Altersgruppen erfassen, und die Abhängigkeit der Grundfrequenz vom Alter noch nicht eindeutig geklärt ist: Einerseits konnten bei vergleichbarer Untersuchungstechnik keine Unterschiede in der mittleren Sprechstimmlage bei 69 und 75 Jahre alten Frauen (n=10) (McGLONE und HOLLIEN) und der Sprechtonhöhe jüngerer Erwachsener (n=27) (LINKE) gefunden werden (27, S.288, 289); andererseits fand FERRERI bei einer histologischen Untersuchung von sechzig Kehlköpfen von Personen über sechzig Jahren einen Verlust der Elastizität der laryngealen Strukturen und eine Zunahme von Fettgewebe in den Ventrikelfalten (9). Diese Veränderungen, verbunden mit Muskelatrophie und Abnahme der Stimmbanddicke, könnten eine Anhebung des durchschnittlichen Grundfrequenzniveaus im mittleren und höheren Alter verursachen, vermuten HOLLIEN und SHIP und erklären hiermit die Ergebnisse ihrer Grundfrequenzbestimmungen in Abhängigkeit vom Alter (18). - Der Wert der von MICHEL et al. (1966) bestimmten mittleren Grundfrequenz entspricht nahezu dem unserigen.

3.4.4. Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und zugehöriger Obertonfrequenzbereiche

Die Kurven in Abb. 17, S. 45 zeigen den Grundfrequenzbereich mit zwei deutlichen Maxima bei 225 Hz und 244 Hz. Die nachfolgenden Obertonbereiche hingegen haben eine dreigipflige Form. Deren zwei ersten Gipfel lassen sich als Obertonmaxima der beiden Grundfrequenzmaxima verstehen. Bildet man nämlich die Differenz zwischen den Frequenzen der ersten bzw. der zweiten Obertonmaxima benachbarter Obertonbereiche $f_{i+1,j} - f_{i,j}$ mit i als Nummer des Obertonbereiches und j als Nummer des Maximums und berechnet hieraus die mittlere Frequenzdifferenz $\bar{f}_j$, so weichen die Einzeldifferenzen $f_{i+1,j} - f_{i,j}$ von der mittleren Differenz nur geringfügig ab.

Die genaue Aufgliederung der Grundfrequenz- und Obertonbereiche ist in Tab. 5, S. 46 wiedergegeben: Bei den Differenzen der ersten Obertonmaxima $f_{o,1}$ bis $f_{7,1}$ beträgt die größte Abweichung von der mittleren Differenz $f_{j=1}$ 2,6 %, bei den zweiten Obertonmaxima $f_{o,2}$ bis $f_{o,7}$ einmal 10 % ansonsten aber unter 5 %. In gleicher Weise lassen sich die jeweiligen dritten Obertonmaxima $f_{i,3}$ aufeinander beziehen, ja sie deken damit auch ein verstecktes drittes Maximum im Grundtonbereich auf, welches nach dem Steilabfall vom zweiten Maximum als schwacher kleiner Abhang kaum zu ahnen ist.

Diese Betrachtung möge zwar auf den ersten Blick überspitzt anmuten, eine praktische Bedeutung jedoch kann sie in der Diagnose und Verlaufsbeobachtung von hormonell gestörten Frauenstimmen, mutierenden Stimmen und Diplophonien anderer Genese finden.

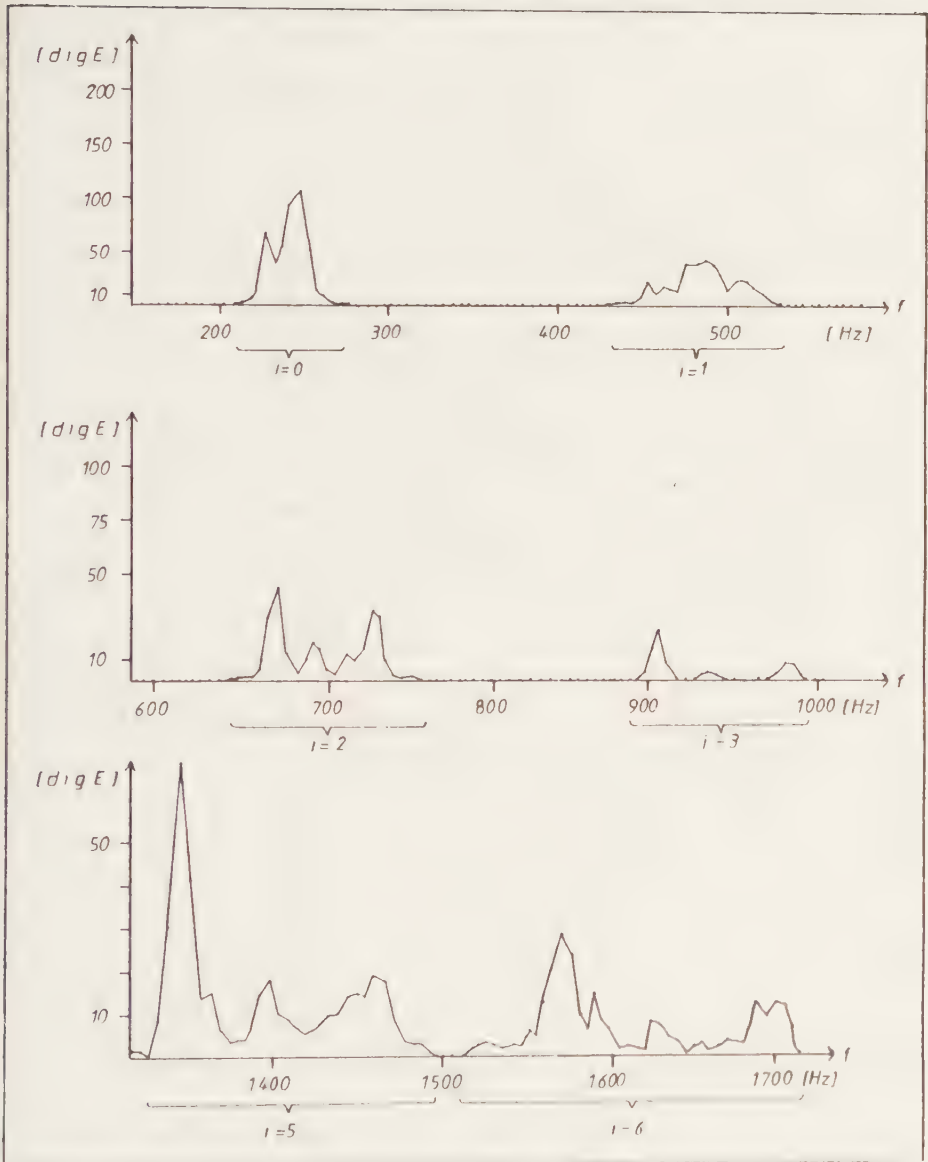


Abb. 17: Ausschnitte aus dem Leistungsdichtespektrum von Rosemarie W. Zu sehen sind der Grundfrequenzbereich $i=0$ und die Obertonbereiche $i=1, 2, 3, 5, 6$. Alle Obertonbereiche weisen drei Hauptmaxima $j=1, 2, 3$ auf. Der sanfte Abfall am Ende des Grundfrequenzbereiches lässt sich harmonisch auf die dritten Hauptmaxima ($j=3$) der Obertonbereiche beziehen (siehe auch Tab. 4).

Nr. d. Amplitudenmaximums	Nr. d. Grund- bzw. Obertonbereichs	Frequenz d. Amplitudenmaximums	Frequenzdiff. entspr. Amplitudenmaxima $f_{i+1,j} - f_{i,j}$	Abweichung d. Frequenzdiff. von d. mittl. Frequenzdiff. entspr. Amplitudenmaxima
j	i	Hz	Hz	%
1	0	225	225	0,5
	1	450	225	0,5
	2	674	224	0
	3	904	230	2,6
	5	1349	2x223	2x0,5
	6	1569	220	1,8
	Mittl. Frequenzdiff. entspr. Amplitudenmaxima: 224 Hz			
2	0	244	244	4,9
	1	483	239	2,9
	2	694	211	10,0
	3	933	239	2,9
	5	1398	2x233	2x0,5
	6	1621	223	4,0
	Mittl. Frequenzdiff. entspr. Amplitudenmaxima: 232 Hz			
3	0	259	259	6,2
	1	508	249	2,4
	2	728	220	10,4
	3	977	249	2,4
	5	1455	2x239	1,8
	6	1700	245	0,8
	Mittl. Frequenzdiff. entspr. Amplitudenmaxima: 243 Hz			

Tab. 5: Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und zugehöriger Obertonbereiche (Vgl. Abb. 17).

Spalte 3 zeigt die Frequenzen der Amplitudenmaxima j in den Grund- und Obertonbereichen i. Ihre Frequenzabstände sind in Spalte 4 wiedergegeben. Aus diesen Frequenzdifferenzen wurde die mittlere Frequenzdifferenz berechnet, und ihre Abweichungen von der mittleren Frequenzdifferenz in %-Werten in Spalte 5 geschrieben.

Die durchgehend kleinen Prozentwerte der Spalte 5 verdeutlichen die harmonische Beziehung entsprechender Amplitudenmaxima unterschiedlicher Grund- und Obertonbereiche.

Ein abschließendes Beispiel zeigt eine Obertonanalyse, bei der durch Feinauflösung der Maxima eines Leistungsdichtespektrums über 10 Sekunden Zählen die ersten 18 Obertonbereiche aufgeschlüsselt werden konnten (Tab. 6, S.49, Abb. 18, S.48). Hierbei lassen die unterschiedlichen Beträge der Amplituden der harmonischen Vielfachen Rückschlüsse auf die Resonanzbedingungen im Ansatzrohr zu. Mit entsprechenden Sprachbeispielen, am ehesten mit Kurzzeitanalysen von Einzelauteilen könnten die Verteilung der Formanten und der harmonischen Anteile über das gesamte Frequenzspektrum verfolgt und Qualitätsmerkmale von gesunden und pathologischen Stimmen quantifiziert werden. Zu untersuchen wäre z.B. der Ort und die Größe unharmonischer Frequenzteile im Leistungsdichtespektrum im Verhältnis zum subjektiven Höreindruck als Beitrag zur Heiserkeitsanalyse. Dies verlangt aber weitere differenzierte Studien von Untersuchern, die mit der Interpretation von Leistungsdichtespektren einer so hohen Auflösung vertraut sind. Demgemäß ist der Abschnitt 3.4.4. nur als Ausblick auf weitere Arbeitsmöglichkeiten gedacht.

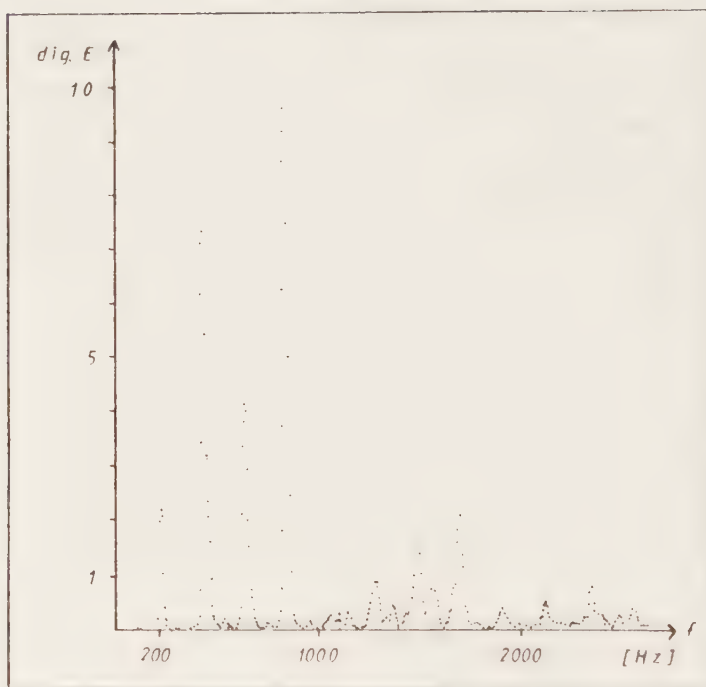


Abb. 18.: Leistungsdichtespektrum von Ulrike L. über 10 s Zählen von 0 bis 2500 Hz. Der schmale Grundfrequenzbereich entspricht eindeutigen Obertonbereichen, die hier bis zum 11., in Tab. 5 bis zum 18. Obertonmaximum zu verfolgen sind. Die unterschiedlichen Amplituden der Obertonmaxima spiegeln die durchschnittlichen Resonanzverhältnisse des Ansatzrohres während des Zählens wider. Die Tiefenabsenkung von 6 dB/Oktave unter 1000 Hz geht in die Kurve mit ein.

Nr. d. Grund bzw. Oberton- bereichs	Frequenz d. Amplituden- maximums	Frequenzdiff. entspr. Ampli- tudenmaxima $f_{i+1} - f_i$	Abweichung d. Frequenzdiff. von d. mittl. Frequenzdiff. entspr. Ampli- tudenmaxima
i	Hz	Hz	%
0	200	200	0
1	405	205	1
2	600	195	1
3	800	200	0
4		200	0
5	1200	200	0
6	1410	210	1
7	1596	186	1,1
8	1796	200	0
9	2011	215	1,1
10	2216	205	1
11	2420	204	1
12	2621	201	0
13	2816	195	1
14	3016	200	0
15	3216	200	0
16	3416	200	0
17	3616	200	0
18	3821	205	1

Tab. 6: Obertonanalyse des Leistungsdichtespektrums
in Abb. 18 , S. 48.

Mittlere Frequenzdifferenz entsprechender Amplitudenmaxima des Leistungsdichtespektrums der Tab. 6, S. 49 bzw. Abb. 18, S. 48:

$$\frac{f_{i+1} - f_i}{19} = 201 \text{ Hz}$$

Standardabweichung : s = 1,4 Hz
Variationskoeffizient : V = 0,7 %

4. BEURTEILUNG DER PRAKTISCHEN VERWERTBARKEIT VON LEISTUNGSDICHTESPEKTREN ZUR COMPUTERISIERTEN FREQUENZANALYSE LÄNGERER SPRACHPROBEN

Die beschriebene Methode zur Berechnung von Leistungsdichtespektren ermöglicht die Darstellung von Frequenz-Amplituden-Spektren längerer Sprachproben in einer Genauigkeit und einer Frequenzbreite, wie es die bisherigen Verfahren nicht erlaubten. Um diese Spektren einer phoniatischen Interpretation zugänglich zu machen, müssen sie allerdings erst auf die jeweilige Fragestellung hin zielgerichtet weiterverarbeitet werden.

Schwierigkeiten bereitet hierbei die Vielfalt der Frequenz-Amplituden-Spektren sprachlich und stimmlich unauffälliger Sprecher sowohl was die interindividuellen, wie auch was die intraindividuellen Unterschiede betrifft. Die unter unseren Versuchsbedingungen gewonnenen gemittelten Leistungsdichtespektren und die entsprechenden Kurven der Standardabweichungen reichen aus diesem Grunde für unsere eingangs in den Vorüberlegungen geäußerten Absicht einer statistischen Abgrenzung gegenüber pathologischen Sprechern nicht aus. Hierfür müßten sich die Mittelwertsspektren aus einer wesentlich größeren Zahl von Einzelspektren rekrutieren. Dies bedürfte jedoch eines Vielfachen der von uns benötigten Rechenzeit, die für die Bestimmung der Kurve der gemittelten Leistungsdichtespektren und die Kurve der entsprechenden Standardabweichungen z.B. bei unserer Gruppe der Männer mit $n=38$ und 512 Datenpunkten schon 9 Stunden betrug. Damit sind die Grenzen der klinischen Anwendbarkeit dieses statistischen Vergleichs sicherlich schon überschritten.

Wollte man den Vergleich dennoch praktikabel machen, müßte man ihn entweder auf einen kleineren Frequenzbereich als den unseren von 0 bis 10000 Hz beschränken, oder in weniger aussagekräftigen Frequenzbereichen die Auflösung verringern. Richtlinien für ein solches Vorgehen geben unsere obigen Ergebnisse:

1. Die Hauptmenge der Schallenergie zeigt sich bei den gemittelten Leistungsdichtespektren unserer Männer- und Frauengruppe in den Frequenzen unter 4100 Hz. Pathologische Veränderungen von Stimme und Sprache werden sich deshalb am ehesten an einer anderen Energieverteilung in diesem Frequenzbereich äußern.
2. Die Kurve der Variationskoeffizienten gewonnen von den 20 Leistungsdichtespektren des Beispiels Volker L. zeigt eine relativ geringe Streuung der Mittelwerte unter 4500 Hz.
3. Bei den gemittelten Leistungsdichtespektren der Männer- und Frauengruppe treten extreme Streuungswerte erst ab ungefähr 8000 Hz auf.
4. Die Obertonanalyse des Leistungsdichtespektrums von Ulrike L. macht auf die Grundfrequenz bezogene harmomische Elemente bis 3821 Hz sichtbar. Die harmonischen Vielfachen konnten wir bei keinem anderen Sprecher so weit verfolgen.

Diese Ergebnisse legen nahe, eine Frequenzanalyse von Sprachproben zum Vergleich zwischen stimmlich und sprachlich unauffälligen und pathologischen Sprechern auf einen Frequenzbereich zwischen 0 bis maximal 5000 Hz zu beschränken.

Die Reduktion der Dauer der Sprachproben unter 30 Sekunden , die eine Verkürzung der Rechenzeit zur Bestimmung der Leistungsdichtespektren bedeutete, scheint uns nicht sinnvoll zu sein, da dann die sprecherspezifischen Merkmale eines Leistungsdichtespektrums gegenüber den sprachtextabhängigen Merkmalen in den Hintergrund treten. Es sei hier nochmals auf die Untersuchungen von LI, HUGHES und HOUSE verwiesen, die 30 Sekunden als die unterste Grenze für die Dauer von Sprachproben nennen, um stabile Vergleichswerte zwischen Individuen zu erhalten (26).

Im Hinblick auf die Darstellung harmonischer Strukturen der Stimme sind Frequenzanalysen kürzerer Sprachproben wie z.B. das Zählen über 10 Sekunden Dauer oder die Analyse isolierter Vokale wie bei den vorgenannten Arbeiten von GERRUL u.a. (12,13) sicherlich aussagekräftiger als die Frequenzanalyse längerer Testtexte. Unser Verfahren zur Berechnung der Leistungsdichtespektren ermöglicht aber auch hier eine rasche Bestimmung der entsprechenden Frequenz-Amplituden-Spektren. Von diesen ausgehende vergleichende Mittelwertsuntersuchungen sind sicherlich einfacher durchzuführen, da die akustische Information dieser Spektren wesentlich geringer ist als die von Spektren ganzer Sprachproben, worauf sich unsere Untersuchungen konzentrierten.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt eine Methode vor, mit der Frequenzspektren als Leistungsdichtespektren aus fouriertransformierten Sprachaufnahmen gewonnen werden können und gibt als Voruntersuchung Aufschlüsse, wie Frequenzspektren von längeren Testtexten zur Objektivierung von Stimm- und Sprachbefunden eingesetzt werden können.

In der Einleitung wird der Mangel an objektiven Verfahren zur Diagnose, Indikationsstellung und Verlaufskontrolle in der klinischen Phoniatrie dargestellt. Der zweite Abschnitt der Arbeit widmet sich den bisher in der klinisch-phoniatrischen Praxis angewandten apparativen Untersuchungsmethoden. Es gibt einen kurzen Überblick über die Verfahren, die spezielle Aussagen über die Stimm- und Sprechmechanik anzielen wie indirekte Laryngoskopie, Stroboskopie, Elektroglottographie, Phonographie, Pneumotachographie, Plethysmographie und zählt neue Methoden auf, die nur der phoniatrischen Forschung vorbehalten sind. Das Funktionsprinzip der elektroakustischen Untersuchungsmethoden von Stimme und Sprache wird näher erklärt: Der Tonhöhenschreiber nach M. GRÜTZMACHER und LOTTERMOSER, der Grundtonanalysator nach SCHULTZ-COULON, das Tonfrequenzspektrometer nach FREYSTEDT, der Oktavsieboszillograph nach F. TRENDELENBURG und FRANZ und der Sonagraph werden in ihren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen beschrieben. Die Anwendung von Digitalrechnern in der klinischen Phoniatrie wird dargestellt.

In den Vorüberlegungen des dritten Abschnittes wird die Frequenzanalyse von Vokalen von der Frequenzanalyse längerer Testtexte, mit der sich unsere Untersuchungen beschäftigen, abgegrenzt.

Anschließend beschreiben wir die Methodik, mit der wir unsere Rohdaten erhalten haben: Eine Gruppe von Männern und eine Gruppe von Frauen ließen wir 10 Sekunden zählen und einen identischen Text auf ein Tonband sprechen, von dem wir die ersten 30 Sekunden verwerteten. Die Bandaufnahmen wurden von Logopäden mit einem Auswertungsbogen bewertet, um pathologische oder dialektgefärbte Sprecher auszuschließen. Anschließend wurden die Aufnahmen nach einer Tiefenabsenkung und Vorverstärkung digitalisiert, fouriertransformiert und die entsprechenden Leistungsdichtespektren bestimmt. Diese stellten eine Energieverteilungskurve über 0 bis 10000 Hz mit einer Auflösung von 5 bzw. 20 Hz pro Amplitudenwert dar.

Als nächstes werden die Problemstellungen und unser Vorgehen zu ihrer Lösung geschildert und die entsprechenden Ergebnisse aufgezählt und diskutiert.

1. Wir berechneten das arithmetisch gemittelte Leistungsdichtespektrum aus den Leistungsdichtespektren der Männergruppe ($n=38$) und der Frauengruppe ($n=37$). Beim Vergleich der Kurven der einfachen Standardabweichungen fanden wir eine so große Überschneidung der Streubereiche beider Gruppen, daß wir keine statistisch signifikanten geschlechtsspezifische Unterschiede feststellen konnten.

2. Wir verglichen ein gemitteltes Leistungsdichte-

spektrum eines Sprechers, das wir aus 20 Leistungsdichtespektren mit unterschiedlichem Text von 30 Sekunden Dauer gewannen, mit dem gemittelten Leistungsdichtespektrum der Männergruppe mit identischem Text. Dabei fanden wir im Bereich von 100 bis 4500 Hz eine durchschnittlich dreimal geringere einfache Standardabweichung bei der Verteilung der Mittelwerte des einzelnen Sprechers.

3. Wir bestimmten die mittlere Grundfrequenz unserer Männergruppe mit $f_o = 121$ Hz, $s = 15$ Hz und unserer Frauengruppe mit $f_o = 209$ Hz, $s = 20$ Hz aus den Leistungsdichtespektren, die wir vom Zählen über 10 Sekunden Dauer gewonnen hatten.
4. Abschließend diskutierten wir die Einsatzmöglichkeiten einer Feinanalyse von Frequenzspektren mit hoher Auflösung anhand der Aufschlüsselung eines Grundfrequenzbereiches und seiner Obertonbereiche.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. BERG, J.VAN DEN: Modern Research in Experimental Phoniatics.
Folia phoniatica, 14 (1962), 81-149
2. BÖHME, G.: Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache.
Leipzig: Joh. Ambr. Barth Verl., (1972)
3. BÖHME, G., F. SRAM und E. KALVODOVA: Elektromyographische Untersuchungen über das Verhalten der Mm. levator und tensor veli palatini bei der Atmung und bei der Phonation von Vokalen.
Folia phoniatica, 18 (1966), 9-18
4. CLAUSS, G., H. EBNER: Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen.
Frankfurt (M), Zürich: Verl. Harri Deutsch mit Genehmigung von Volk u. Wissen Volkseigener Verlag DDR-Berlin (1972)
5. COOLEY, J.W., J.W. TUKEY: An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series.
Math. Comp. 19 (1965), 297-301
6. FABRICIUS, H.: Fast Fourier Transformation: Anwendungsmöglichkeiten von Fourier-Verfahren mit Computern.
Beitrag zum Lehrgang Nr. 2021/06.08./4 der Technischen Akademie Esslingen am 13.-15. 6.1973: Datenverarbeitung und numerische Methoden als Mittel der Mess- und Versuchstechnik.
7. FANT, C.G.M.: Descriptive Analysis of the Acoustic Aspects of Speech.
Logos. 5, Nr. 1 (1962), 3-17
8. FEDDERS, B., H.-J. SCHULTZ-COULON: Ein Grundtonanalysator für die klinische und experimentelle Phoniatrie.
Acustica 33 (1975), 17-24
9. FERRERI, G.: Senescence of the Larynx.
Ital. Gen. Rev. Oto-rhino-laryng. 1 (1959) 640-709

10. FOULKES, J.D.: Computer Identification of Vowel Types.
Journ. of the Acoust. Soc. of America 12
(1960)
11. FREYSTEDT, E.: Der Tonfrequenzspektrometer, ein Frequenzanalysator mit äußerst hoher Analysiergeschwindigkeit und unmittelbar sichtbarem Spektrum.
Z.techn. Physik 16 (1935), 533-539
12. GERRUL, G. (u.a.): Untersuchung verschiedener Gruppen von Stimmstörungen durch statistische Spektralanalyse.
HNO 24 (1976), 1-9
13. GERRUL, G. (u.a.): Einsatz der Frequenzanalyse zur objektiven Untersuchung von Stimmstörungen.
Z. Laryng. Rhinol. 51 (1972), 815-820
14. GRÜTZMACHER, M., W. LOTTERMOSER: Über ein Verfahren zur trägheitsfreien Aufzeichnung von Melodiekurven.
Akust. Z. 2 (1937), 242-248
15. GUNDERMANN, H., W. GRÜTZMACHER: Ein praktikables, voll transistorisiertes Gerät zur Bestimmung des Stimmumfanges und der mittleren Sprechstimmlage.
HNO 18 (1970), 61-64
16. HANLEY, T.D.: An Analysis of Vocal Frequency and Duration Characteristics of Selected Samples of Speech from General American, Eastern American and Southern American Dialect Regions.
Speech Monogr. 18 (1951), 78-93
17. HOLLIEN, H.; B. JACKSON: Normative SFF Data on Southern Male University Students.
Progr. Rep. to NIH Grant NB-OX397 (1967)
18. HOLLIEN, H., T. SHIPP: Speaking Fundamental Frequency and Chronologic Age in Males.
J. of Speech and Hear. Res. 15 (1972), 155-159
19. HOLM, C.: Wechselbeziehung von Konsonant- und Vokalstruktur, ein Beitrag zur Objektivierung von Stimm- und Sprachbefunden.
Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.-Heilk. 199
(1971), 736-741

20. HOLM, C.: Das Segment in Einzellaut, Wort und Satz, seine Bedeutung für die Therapie von Sprachstörungen.
4. Int. Kong. f. Heilpädagogik.
Wien: Österreichischer Bundesverlag (1969)
21. KERSTA, L.G.: Voiceprint Identification.
Nature 196 (1962), 1253-1257
22. KOENIG, W., H.K. DUNN und L.Y. LACY: The Sound Spectrograph.
J. of the Acoust. Soc. of America 17
(1946), 19-49
23. LADEFOGED, P.: The Voiceprint Mystique. Laborbericht University Calif.
Los Angeles (Nov. 1967)
24. LEDEN, H.v.: Neuere Funktionsteste des Larynx.
HNO 19 (1971), 225-231
25. LI, K.-P., G.W. HUGHES: Talker Differences as they appear in Correlation Matrices of Continuous Speech Spectra.
Journ. of the Acoust. Soc. of America 55
(1974), 833-837
26. LI, K.-P., G.W. HUGHES and A.S. HOUSE: Correlation Characteristics and Dimensionality of Speech Spectra.
Journ. of the Acoust. Soc. of America 46
(1969), 1019-1025
27. LUCHSINGER, R., G.E. ARNOLD: Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde. Bd. 2, Teil A:
F. WINCKEL: Theorien der Stimmerzeugung,
3. erw. Aufl. Wien, New York: Springer-Verl.
(1970)
28. MEYER, E., D. GUICKING: Schwingungslehre.
Braunschweig: Vieweg u. Sohn-Verl. (1974)
29. MITRINOWICZ-MODRZEJEWSKA, A., S. KRUSZEWSKI:
Röntgenkinematographie und die Pathologie der Stimme.
Folia phoniatica 13, (1961), 164-173
30. PASCHER, W., H.S. JOHANNSEN: Angewandte Phoniatrie:
I. Methodik der Stimmuntersuchung.
HNO 23 (1975), 84-90

31. PETERSON, G.E., BARNEY, H.L.: Control Methods
Used in a Study of the Vowels:
J. of the Acoust. Soc. of America 24
(1952), 175-184
32. PHILHOUR, C.W.: An Experimental Study of the
Relationships between Perception of Vocal
Pitch in Connected Speech and Certain
Measures of Vocal Frequency.
Doctoral Dissertation Univ. Iowa (1948)
33. PRONOVOST, W.: An Experimental Study of Methods
for Determining Natural and Habitual Pitch.
Speech Monogr. 9 (1942), 111-123
34. SAXMAN, J.H., K.W. BURK: Speaking Fundamental
Frequency Characteristics of Middle-Aged
Females.
Folia phoniatica 19 (1967), 167-172
35. SCHULTZ-COULON, H.-J.: Grundtonanalyse- ein Bei-
trag zur objektiven Beurteilung der Sprech-
und Singstimme.
HNO 23 (1975), 218-225
36. SCHULTZ-COULON, H.-J., H.-J. ARNDT: Tonhöhen-
schreibung in der phoniatischen Praxis.
Folia phoniatica 24 (1972), 241-258
37. SORON, H.J.: High-Speed Photographie in Speech
Research.
Journ. of Speech and Hear. Res. 10 (1967),
767-776
38. TRENDELENBURG, F.: Einführung in die Akustik.
3. Aufl. Berlin, New York: Springer-Verl.
(1961)
39. TRENDELENBURG, F., E. FRANZ: Untersuchungen an
schnellveränderlichen Schallvorgängen.
Z. techn. Physik 16 (1935), 513-516
40. TRENDELENBURG, W.: Neuere Ergebnisse der Stimm-
physiologie.
Arch. Sprach- u. Stimmphysiol. u. Sprach-
u. Stimmheilk. 6, H. 3/4 (1942)
41. YANAGIHARA, N.: Significance of Harmonic Changes
and Noise Components in Hoarseness.
J. of Speech and Hear. Res. 10 (1967),
531-541

LEBENS LAUF

Am 7. November 1952 wurde ich, Hans-Peter Fischer, als Sohn des Diplom-Chemikers Adolf W. Fischer und seiner Gemahlin Elisabeth, geb. Schuster, in Worms geboren. Von 1958 bis 1962 besuchte ich die Volksschule in Worms, anschließend ebendort das Staatliche Gauss-Gymnasium, wo ich 1971 meine Schul Ausbildung mit dem Abitur des mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweiges abschloß.

Danach leistete ich bis zu meiner Immatrikulation 13 Monate meines Grundwehrdienstes im 3. Pionierbataillon 12 in Speyer ab.

Vom Sommersemester 1972 bis heute studiere ich Medizin an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Dort legte ich im Frühjahr 1973 das Vorphysikum und im Herbst 1974 das Physikum ab. Im Herbst 1975 bestand ich den ersten Teil und im Frühjahr 1978 den zweiten Teil der ärztlichen Prüfung und beabsichtige im Frühjahr 1979 mein Medizinstudium abzuschließen

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. med. P. BIESALSKI für die Überlassung des Themas sowie für die stets bereitwillige Betreuung und Unterstützung herzlich danken.

Für die Übernahme des 2. Gutachtens danke ich Herrn

Für die Unterstützung bei der Erstellung und Durchführung der Rechenprogramme bin ich der Firma Deutsche Intertechnique G.m.b.H. und Herrn Doell zu Dank verpflichtet.

Frau Preywisch, Frau Krebs und Herrn Dr. Neuschäfer möchte ich für die subjektive phoniatische Beurteilung der Testtexte danken.



